

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل -

Université Mohammed Seddik Ben Yahia -Jijel-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Microbiologie Appliquée et
Sciences Alimentaires



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم الميكروبيولوجيا التطبيقية و علوم التغذية

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Biologie**

Option : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

**Etude comparative du séchage par microonde et à l'étuve
des petits pois de Jijel**

Membres de Jury :

Présidente : M^{me} DJABALI S

Examinatrice: D^r BEKKA-HADJI F

Encadreur : D^r DAIRI S

Présenté par :

M^{elle} Abdi Tinhinane

M^{elle} Direm Hadjira

Année Universitaire 2018-2019

Numéro d'ordre (bibliothèque) :/.....

Remerciements

Tout d'abord, nous exprimons nos remerciements à Allah de nous avoir donné le courage, la santé et toute la patience qui nous ont été utiles tout au long de ce travail.

Au terme de la réalisation de ce travail, nous avons l'honneur et le plaisir d'exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à D^r Dairi S non seulement d'avoir accepté l'encadrement de ce travail, mais aussi pour son aide, son orientation judicieuse, sa gentillesse, et sa grande disponibilité à toute épreuve. Nous sommes très reconnaissantes pour sa grande contribution.

On tient à remercier chaleureusement M^{me} Djabali S de nous avoir fait l'honneur de présider le jury.

Nos vifs remerciements vont également à D^r Bekka F d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous exprimons aussi notre gratitude à tous les enseignants rencontrés lors de notre cycle universitaire.

A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Hadjira et Tinhinane

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

La mémoire de mon cher père

A celui qui m'a aidé à découvrir le 'savoir' le trésor inépuisable.

Tu as été et tu seras toujours un exemple à suivre pour tes qualités humaines, ta persévérance et ton perfectionnisme.

Des mots ne pourront jamais exprimer la profondeur de mon respect, ma considération, ma reconnaissance et mon amour éternel.

Que dieu réserve pour toi une place au paradis mon papa.

Ma chère mère

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Puisse Dieu le tout puissant te protéger du mal, te procurer longue vie, santé et bonheur afin que je puisse te rendre un minimum de ce que je te dois.

Mon cher frère Nadjmeddine et mes chères sœurs Meriem et Dalal

Mes anges gardiens et mes fidèles compagnons dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

Mes adorables amies pour les bons moments qu'on a passés ensemble.

Toute ma famille et toute ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.

Hadjira

Dédicace

A mes très chers parents qui n'ont jamais cessés de m'apporter tout ce dont j'ai besoin pour réaliser ce travail et tout au long de mon parcours éducatif, ainsi pour leur amour, leur affection et

Leur soutien, que le bon Dieu les gardent pour nous.

A mon cher frère Racim, présent dans tous mes moments. Je t'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour, que dieu te protège.

A mon oncle F Lahouel M pour ses conseils, ses orientations et sa précieuse aide.

A « les plus belles » le fait de vous dire sœurs est trop peu pour ce que vous êtes pour moi.

A « saku » et « manou » Je n'oublierais jamais votre bonté et votre aide

A « mouidi » merci de m'avoir remonté le moral, encouragé, et soutenu jusqu'à la dernière minute.

A la mémoire de ma grand-mère que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A ma famille et toutes les personnes que j'aime

Abdi Tinhinane

Tableau 1 : Production mondiale des graines de petit pois (Moyenne de 2011 à 2014).....	6
Tableau 2 : Production du petit pois en Algérie.	7
Tableau 3 : Evolution des superficies et la production de la culture de petit pois dans la wilaya de Jijel.....	7
Tableau 4 : Teneur (mg/100g) de petit pois en acides aminés.	8
Tableau 5 : Teneur en minéraux de petit pois crus et cuits.	9
Tableau 6 : Teneur en vitamines de petit pois (mg/100g).	10
Tableau 7 : Quelques composés phénoliques de pisum sativum.....	10
Tableau 8 : Teneurs en composés phénoliques des extraits de petit pois.....	11
Tableau 9 : Résumé de quelques travaux de séchage par four à micro-ondes.	20
Tableau 10 : Vitesses de séchage en fonction de la température et de la puissance.....	34
Tableau 11 : Taux d'humidité en fonction de temps de séchage des différentes températures et puissances.....	36
Tableau 12 : Poudres obtenues à partir de petit pois séché a l'étuve et au four à micro-ondes	48
Tableau 13 : Corrélation entre PPT et les autres paramètres.....	49

Figure 1 : Fleur (A), gousses (B), feuilles et tiges de petit pois (C).	4
Figure 2 : Pois à soupe Saint Hubert (lisses) (A), Pois à écosser Kelvedon (ridés) (B)	5
Figure 3 : Petit pois mange-tout.....	5
Figure 4 : Principe du séchage	13
Figure 5 : Schéma d'un four à micro-ondes	17
Figure 6 : Mouvement d'un dipôle dans un champ électrique	18
Figure 7 : Photographie de petit pois récoltés.....	23
Figure 8 : Photographie du four à micro-ondes (A), et de l'étuve (B).....	24
Figure 9 : Photographie de tamisage (A), flacon contient une poudre obtenue (B).	24
Figure 10 : Protocole de dosage des cendres	26
Figure 11 : Protocole de dosage des composés phénoliques	27
Figure 12 : Protocole de dosage des flavonoïdes	28
Figure 13 : Protocole de dosage des caroténoïdes et des chlorophylles α et β	29
Figure 14 : Réaction d'une structure polyphénolique avec le radical DPPH'	30
Figure 15 : Test de DPPH'	30
Figure 16 : Réalisation du test de détermination du pouvoir réducteur	31
Figure 17 : Evolution de la perte de masse en fonction de différentes températures (40, 60, 80 °C)	33
Figure 18 : Evolution de la perte de masse en fonction de différentes puissances.....	34
Figure 19 : La relation temps, température et temps, puissance.....	35
Figure 20 : Valeurs de capacité d'hydratation en fonction du temps.	37
Figure 21 : Capacité et indice d'hydratation de petit pois séchés à l'étuve et au four à micro-ondes.	38
Figure 22 : Teneur en matière minérale de petit pois séché au four à micro-ondes et à l'étuve.	39
Figure 23 : Teneur en matière organique de petit pois séché au four à micro-ondes et à l'étuve. ...	39
Figure 24 : Teneurs en PPT des extraits de poudres de petit pois séché à l'étuve et au four à micro-ondes.	40
Figure 25 : Teneurs en flavonoïdes des extraits de poudres de petit pois séché à l'étuve et au four à micro-ondes.....	42
Figure 26 : Teneurs en chlorophylle " α " et " β ".	43
Figure 27 : Teneurs en caroténoïdes des échantillons des extraits de poudres de petit pois séché à l'étuve et au four à micro-ondes.	44
Figure 28 : Pourcentages d'inhibition du radical DPPH' à l'étuve et au four à micro-ondes.	44

Figure 29 : Teneurs moyennes en pouvoir réducteur des extraits de poudres de petit pois séché à l'étuve et au four à micro-ondes.46

Abs : absorbance
ACE : l'enzyme de conversion de l'angiotensine
AG : acide gallique
B : blanchiment
cm : centimètre
CPT : composés phénolique totaux
Cr : cendre
C α : chlorophylle α
C β : chlorophylle β
DIC : détente instantanée contrôlée
DPPH : 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl
EAG: Equivalent d'Acide Gallique
FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
g : gramme
Ghz : gigahertz
h : heure
H% : pourcentage d'humidité
Ha : hectare
HPLC : Chromatographie en phase liquide à haute performance
Kcal : kilocalorie
Kt : kilotonne
m : mètre
M : molle
mg : milligramme
Mhz : mégahertz
min : minute
ml : mililitre
MM : matière minérale
nm : nanomètre
P : Pisum
PPT : composés phénoliques totaux
Qx : quintaux
tr : tour

UV : ultra-violet

µl : microlitre

µg : microgramme

µm : micromètre

v : volume

W : watt

Table des matières

Liste des tableaux.....	i
Liste des figures.....	ii
Liste des abréviations.....	iv
Introduction.....	1

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Données générales sur le petit pois

I.1.Généralités sur le petit pois.....	3
I.2.Origine et Historique	3
I.3. Classification	3
I.4. Caractéristiques botaniques	4
I.5. Variétés de petit pois	4
I.6.Production du petit pois	6
I.6.1. Production mondiale.....	6
I.6.2. Production nationale	6
I.6.3. Production dans la wilaya de Jijel	7
I.7. Composition chimique.....	8
I.7.1. Protéines	8
I.7.1.1. Profil en acides aminés	8
I.7.2. Glucides	8
I.7.2.1. Amidon	8
I.7.2.2. Fibres	9
I.7.3. Lipides	9
I.7.4. Minéraux.....	9
I.7.5. Vitamines.....	9
I.7.6. Composés phénoliques	10
I.7.7. Facteurs antinutritionnels.....	11
I.8. Utilisations du petit pois	11
I.9. Importance de la culture du petit pois.....	11
I.9.1. Importance nutritive.....	11
I.9.2. Importance agronomique	12
I.9.3. Importance médicale.....	12

Chapitre II : Séchage

II.1. Généralités.....	13
II.2. Principe et objectifs du séchage	13

II.2.1. Principe.....	13
II.2.2. Objectifs	14
II.3. Mécanismes intervenants au cours du séchage	14
II.3.1. Transferts de la chaleur	14
II.3.2. Transferts de matière au cours du séchage	15
II.4. Types de séchage.....	15
II.4.1. Séchage non thermique	15
II.4.1.1. Lyophilisation.....	15
II.4.1.2. Séchage osmotique	15
II.4.2. Séchage thermique	15
II.4.2.1. Séchage par entraînement.....	15
II.4.2.2. Séchage par ébullition	16
II.4.2.3. Séchage à l'air libre.....	16
II.4.2.4. Séchage à l'étuve.....	16
II.4.2.5. Séchage par four à micro-ondes	16
II.4.2.6. Détente Instantanée Contrôlée (DIC)	21

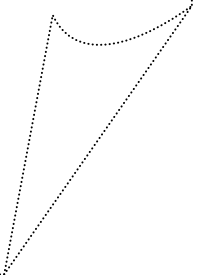
Etude expérimentale

Chapitre III : matériels et méthodes

III.1. Matériels utilisés	22
III.1.1. Appareillage	22
III.1.2. Produits chimiques.....	22
III.2. Récolte du matériel végétal.....	23
III.3. Séchage	23
III.4. Etude de la composition des poudres de petit pois	24
III.4.1. Analyses physico-chimiques.....	25
III.4.1.1. Teneur en eau (humidité)	25
III.4.1.2. Capacité d'hydratation	25
III.4.1.3. Teneur en matière minérale (Cendres).....	26
III.5. Procédures d'extraction des composés phénoliques	27
III.6. Principes actifs	27
III.6.1. Dosage des composés phénolique totaux (PPT)	27
III.6.2. Dosage des flavonoïdes.....	28
III.6.3. Dosage des caroténoïdes, des Chlorophylles α et β	28
III.7. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits de petit pois	30
III.7.1. Test de mesure du pouvoir antioxydant (test DPPH [•])	30

III.7.2. Détermination du pouvoir réducteur	31
III.8. Analyse de la couleur	32
III.9. Analyse statistique	32
Chapitre IV : résultats et discussion	
IV.1. Cinétiques de séchage de petit pois	33
IV.2. Teneur en eau (humidité)	36
IV.3. Capacité d'hydratation	37
IV.4. Teneur en matière minérale (Cendres).....	38
IV.5. Analyse phytochimique	40
IV.5.1. Dosage des composés phénoliques totaux (PPT)	40
IV.5.2. Dosage des flavonoïdes	41
IV.5.3. Dosage des chlorophylles α et β	42
IV.5.4. Caroténoïdes	43
IV.5.5. Test DPPH	44
IV.5.6. Pouvoir réducteur.....	45
IV.6. Analyse de la couleur.....	47
IV.7. Test de corrélation entre les différents paramètres étudiés.....	49
Conclusion	51
Références bibliographiques	52
Annexes	
Résumé	

Introduction



Les légumineuses sont l'une des cultures les plus importantes en raison non seulement de leurs qualités nutritionnelles mais également pour leurs divers avantages agro-environnementaux. Les graines et poudres de légumineuses sont des sources importantes de protéines, glucides, vitamines, minéraux et fibres alimentaires (**Rachwa-Rosiak et al., 2015**).

Le petit pois (*Pisum sativum L.*) est l'une des légumineuses alimentaires les plus cultivées dans le monde (**Doymaz et Kucuk, 2017**). Vu qu'elle n'est pas disponible le long de l'année (sa plantation ne se fait qu'en printemps) et afin de pouvoir l'utiliser pendant toute l'année, l'homme doit la conserver. C'est pourquoi le séchage de petit pois, s'avère une alternative intéressante et prometteuse à l'échelle industrielle.

Le séchage, une des méthodes de stockage des produits agroalimentaires, présente une grande diversité en termes d'échelle de production et de produit traité. Cette activité peut être réalisée au niveau domestique comme au niveau industriel ; elle concerne des produits vivriers de base, comme les plantes à tubercules, ou des produits maraîchers comme les légumes et les condiments (**Arvy et Gallouin, 2003**). Cette opération a la capacité de prolonger la période de consommation de produit alimentaire, tout en conservant son contenu nutritionnel (**Alibas, 2007**).

Le séchage conventionnel comprend une exposition des produits alimentaires à haute température et pour de longues périodes, ce qui peut entraîner de graves dommages à la saveur, la couleur, la capacité de réhydratation et des éléments nutritifs de la matière traitée, ainsi que sur la valeur énergétique. En effet, le développement de nouvelles méthodes de séchage est essentiel pour la conservation des produits alimentaires (**Sharma et Prasad, 2004**). Ces dernières années, le séchage par four à micro-ondes a gagné une popularité en tant que méthode de séchage alternative, efficace pour le traitement post-récolte des produits agricoles grâce à son efficacité en termes de temps, sa faible consommation d'énergie et la qualité élevée de ses produits (**Pu et al., 2016**). Actuellement, plusieurs travaux sont dirigés sur le même axe de recherche, à savoir ceux de Chahbani et ses collaborateurs (2018) sur le séchage de petit pois par four à micro-ondes et ceux de Doymaz et ses collaborateurs (2015) sur le séchage des haricots verts.

Le présent travail a pour but d'étudier en premier lieu la comparaison entre les différents modes de séchage de petit pois à savoir : le séchage à l'étuve (40, 60, 80 °C), le séchage au four à micro-ondes (100,240, 400 et 640 W) et leurs impacts sur la bioactivité des extraits obtenus.

En deuxième lieu d'étudier l'effet de blanchiment sur le traitement par four à micro-ondes. Afin de déterminer l'efficacité de chaque type de séchage et le blanchiment, différents paramètres ont été évalués :

- La composition phytochimique (teneur en polyphénols totaux (PPT), flavonoïdes, chlorophylle et caroténoïdes) ;
- Evaluation de l'activité antioxydante : Test DPPH° et pouvoir réducteur ;
- Caractérisation de la matière minérale et la capacité d'hydratation.

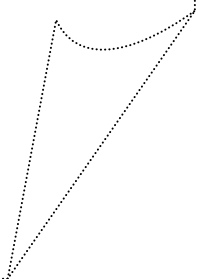
La première partie du manuscrit est une étude bibliographique qui est subdivisée en deux chapitres :

- Le premier chapitre comporte des généralités sur le petit pois ;
- Le deuxième chapitre porte sur le séchage.

La seconde partie est une partie pratique qui rassemble deux chapitres :

- Le premier décrit le matériel végétal et les méthodes utilisées ;
- Le deuxième chapitre résume les résultats et discussion.

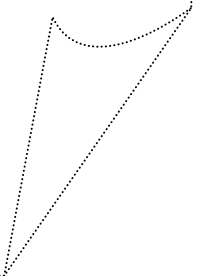
Synthèse bibliographique



Chapitre I

Données générales sur

le petit pois



I.1. Généralités sur le petit pois

Les pois (*Pisum sativum* L.) sont l'une des légumineuses les plus largement cultivées et consommées dans le monde, principalement au Canada, en France, en Chine, aux États-Unis et en Russie. Ils ont une valeur nutritionnelle élevée et, une teneur élevée en lysine. C'est également une bonne source pour générer des peptides bioactifs, qui peuvent fournir une activité antioxydante et une activité d'inhibiteur de l'enzyme de conversion de l'angiotensine I (ACE) pour des effets cardiaques et bénéfiques sur la santé (**Burger et Zhang, 2019**).

I.2. Origine et Historique

Théophraste, trois siècles avant notre ère, dans son livre intitulé "recherches sur les plantes" a décrit plusieurs espèces de la famille actuelle des légumineuses et notamment le pois (**Davies et al., 1985**). Il est consommé depuis environ 5000 ans avant Jésus Christ et, était déjà très apprécié dans les civilisations anciennes (**Smartt, 1990**). Les origines primaires du pois se situent vraisemblablement dans le Sud-Ouest d'Asie, Abyssinie en Afghanistan et les régions avoisinantes (**Zohary et Hopf, 2002**).

La région méditerranéenne constitue un centre secondaire. À partir de ces centres, le pois se serait dispersé dans le reste de l'Europe et le reste de l'Asie (**Kay, 1979**). Cette culture a longtemps été cultivée aux États-Unis d'Amérique et historiquement, le pois de la campagne est l'une des meilleures cultures commerciales de Wisconsin (**Oelke et al., 1991**).

Pisum sativum se trouve également dans tous les pays tempérés et dans la plupart des hautes terres tropicales (comme exemple l'Afrique centrale (partie Est) et orientale (en Ethiopie) (**Brink et Belay, 2006**).

I.3. Classification

L'espèce *Pisum sativum* L. appartient au genre *Pisum*, classé dans la tribu des Fabaceae (Viciae). Cette dernière regroupe diverses espèces de plantes herbacées annuelles, réparties en cinq genres : *Lathyrus* L. (gesse/pois doux, environ 160 espèces), *Lens* (lentilles, 4 espèces), *Pisum* L. (pois, 3 espèces) et, *Vicia* L. (vesces, environ 140 espèces) et le genre monotypique *Vavilovia* (**Smýkal et al., 2011**).

La classification du genre *Pisum*, après avoir compté plusieurs espèces, ne regroupe que trois espèces :

- *P. sativum* L.
 - Subsp. sativum ;
 - Subsp. elatius.
- *P. fulvum*.
- *P. abyssinicum* (Cieslarová *et al.*, 2011).

I.4. Caractéristiques botaniques

Sur le plan botanique, il est décrit comme une plante annuelle, autogame, herbacée. La plante est dotée d'un système racinaire à pivot, relativement peu développé et à racines secondaires, tertiaires et même quaternaires pouvant atteindre une profondeur d'un mètre dans des conditions de sol favorables, mais cependant très ramifié, surtout dans la couche superficielle du sol. Ses feuilles sont alternes et se composent d'une à quatre paires de folioles sessiles, opposées et terminées par une vrille simple ou ramifiée. Les fleurs sont blanches, longues de 3 à 4 cm (Aubineau *et al.*, 2002). Ces dernières donnent des gousses allongées et renflées, remplies de graines rondes (Couplan, 2011) (Figure 1).



Figure 1 : Fleur (A), gousses (B), feuilles et tiges de petit pois (C).

I.5. Variétés de petit pois

Les espèces de petit pois sont divisées en trois groupes principaux (Figure 2 et 3) :

Petit pois lisse : il est plus résistant au froid (Messiaen, 2010), présente une semence bien ronde. Il produit un grain fin dont la teneur en amidon est élevée (42 à 49 %). Ce qui lui confère une saveur légèrement farineuse ; sa richesse en amidon permet une reprise en eau au cours de la stérilisation, et par conséquent un bon rendement industriel (Moreno, 2009).

Petit pois ridé : produit des grains de plus gros calibre présentant des flétrissements à l'état sec. Sa teneur en amidon est plus faible que celle du petit pois lisse (20 à 35 %) et, sa nature différente. Ce qui lui donne une texture moins farineuse et un goût plus sucré. La plus forte proportion d'amylose du pois ridé accroît par ailleurs la capacité de rétention d'eau, d'où un démarrage de la déshydratation retardée par rapport au pois lisse qui explique une plus grande souplesse à la récolte (Loridon *et al.*, 2005).



Figure 2 : Pois à soupe Saint Hubert (lisses) (A), Pois à écosser Kelvedon (ridés) (B) (Boidron, 2017).

Le pois Mange-tout : des pois que l'on récolte plus jeune et que l'on mange avec la cosse (Messiaen, 2010).



Figure 3 : Petit pois mange-tout (Boidron, 2017).

Ces trois variétés peuvent aussi être des variétés « naines » ou « à rames » :

- **Pois naines** : les plantes ne dépassent pas 50 cm de hauteur.
- **Pois à rames** : les plantes peuvent atteindre 2 m 50 et nécessitent plus d'espace (Messiaen, 2010).

I.6. Production du petit pois

I.6.1. Production mondiale

Les principaux pays producteurs sont le Canada, la Russie et la Chine (**Doymaz et Kucuk, 2017**). La culture du petit pois est considérée parmi les plus anciennes dans les pays d’Afrique. De l’Ethiopie, du Burundi, de la Tanzanie, de l’Ouganda et du Rwanda (**Brink et Belay, 2006**). En Inde, Pakistan et Bangladesh, le pois sec est de plus en plus consommé sous forme de farine, comme dans de nombreux autres pays, il est aussi consommé sous forme de petits grains verts ou jaunes et, cuisiné comme des haricots, mais aussi sous forme de grains cassés généralement jaunes, sans le tégument, appelés « dal » en Inde (**Benoît et al., 2006**) (Tableau 1).

Tableau 1 : Production mondiale de petit pois (Moyenne de 2011 à 2014) (**FAO, 2017**).

Les pays	Productions (Kt)
Russie	117645
Canada	46111
Chine	12590853
Inde	5345000
France	227611
USA	243440
Australie	20574

I.6.2. Production nationale

La production nationale de pois frais occupe la 9^{ème} place dans la production mondiale avec une production de 131,414 Tonnes, et la 3^{ème} place parmi les légumes secs en Algérie (**FAO, 2017**). La culture est répandue sur tout le territoire national, et surtout cultivé sur les plaines côtières et les zones sublittorales (**Allard et al., 1993**) (Tableau 2) avec une surface de 34268 Ha (**FAO, 2017**).

Tableau 2 : Production du petit pois en Algérie (direction des services agricoles Jijel).

Wilaya	Superficie (Ha)	Production (Qx)	Rendement (Qx/Ha)
Jijel	165	7875	47,7
Bejaia	192	13617	70,9
Skikda	2213	163445	73,9
Oran	1462	46525	31,8
Alger	236	15210	64,4

I.6.3. Production dans la wilaya de Jijel

Le tableau ci-après montre l'évolution des superficies ainsi que la production allant de l'année 2016 jusqu'à 2018 dans la wilaya de Jijel.

Tableau 3 : Evolution des superficies et la production de la culture de petit pois dans la wilaya de Jijel (direction des services agricoles Jijel).

Année	Commune	Superficie (Ha)	Production (Qx)
2016	TEXENNA	2	120
	EL AOUANA	12	770
	TAHER	50	2650
	EL MILIA	25	1225
	OULED YAHIA	4	180
2017	TEXENNA	3	140
	EL AOUANA	14	960
	TAHER	12	660
	EL MILIA	32	1609
	OULED YAHIA	15	825
2018	TEXENNA	3	255
	EL AOUANA	15	1230
	TAHER	13	650
	EL MILIA	16	2270
	OULED YAHIA	10	1450

I.7. Composition chimique

Le pois a été largement utilisé dans l'alimentation humaine en raison de son excellente source de protéines, de vitamines, de minéraux et d'autres nutriments, tout en étant faible en gras, riche en fibres et ne contient pas de cholestérol (**Doymaz et Kucuk, 2017**).

I.7.1. Protéines

Le pois (*Pisum sativum* L.) est parmi les matières premières riches en protéines, substitués possibles au soja, (**Perrot, 1995**). Il renferme 21.6 % de sa matière sèche en protéines (**Roe et al., 2015**).

I.7.1.1. Profil en acides aminés

La composition en acides aminés du petit pois est bien équilibrée (Tableau 4), mais la composition des pois ridés est différente de celle des pois lisses ; ils ont moins d'acides aminés (**Brink et Belay, 2006**).

Tableau 4 : Teneur (mg/100 g) de petit pois en acides aminés (**Pownall et al., 2010**).

Acides aminés essentiels	mg/100 g de petit pois
Tryptophane	210
Lysine	1620
Méthionine	210
Phénylalanine	1000
Thréonine	860
Valine	1000
Leucine	1480
Isoleucine	93

I.7.2. Glucides

I.7.2.1. Amidon

L'énergie des légumineuses provient principalement des glucides, dont l'amidon est la composante majeure. La teneur en amidon des graines de petit pois est de 4,6 g par 100 g de partie comestible (**Holland et al., 1991**).

I.7.2.2. Fibres

Les fibres, partie indigestible des végétaux dans l'intestin grêle humain, sont classées en fibres solubles et insolubles. Les fibres solubles sont digérées lentement dans le côlon ; par contre, les fibres insolubles, métaboliquement inertes, sont soumises à une fermentation dans le côlon induisant une croissance des bactéries intestinales (Tosh et Yada, 2010). Les graines mures, entières et sèches de pois contiennent 5,1 g/ 100 g de partie comestible (Roe *et al.*, 2015).

I.7.3. Lipides

Les légumineuses (haricots, lentilles et les pois) sont faibles en lipides et sans cholestérol parce qu'elles sont d'origine végétale. La faible quantité de lipides contenus dans les légumineuses est principalement formée d'acides gras insaturés (Rémond et Walrand, 2017).

La Composition de lipides par portion comestible de 100 g de graines entières mures séchées de petit pois est de 2,4 g (Rémond et Walrand, 2017).

I.7.4. Minéraux

Plusieurs minéraux sont contenus dans le petit pois, dont le calcium, le fer, le cuivre, le phosphore, le potassium et le magnésium (Tableau 5).

Tableau 5 : Teneur en minéraux de petit pois secs et crus (Roe *et al.*, 2015).

Types de petit pois	Minéraux (mg/100 g)				
	Ca	Fe	Mg	P	Zn
Pois secs, crus (<i>Pisum sativum</i>)	61	4,7	120	300	3,7

I.7.5. Vitamines

Les légumineuses sont aussi une bonne source de vitamines (Tableau 6), comparé aux autres légumineuses, le petit pois est nettement plus riche en vitamine K (Roe *et al.*, 2015).

Tableau 6 : Teneur en vitamines de petit pois (mg/100 g) (Roe *et al.*, 2015).

Vitamines	mg/100 g Petit pois
Thiamine (B1)	0,6
Riboflavine (B2)	0,3
Niacine (B3)	3
Vitamine C	3
Vitamine K	930

I.7.6. Composés phénoliques

Les composés phénoliques tels que les flavonoïdes et les acides phénoliques sont principalement responsables des propriétés antioxydantes. Vue l'importance de ces composés, plusieurs études ont été menées pour trouver des antioxydants naturels dans divers matériaux végétaux (Chahbani *et al.*, 2018) (Tableau 7).

Tableau 7 : Quelques composés phénoliques de *Pisum sativum* (Fahim *et al.*, 2019).

Composés phénoliques			
Flavonoïdes			Acides phénoliques
Flavanols	Flavones	Flavonols	
- Kaempferol	- Apigénine	- Catechine	- Acide caféique
- Galangine	- Isoorientine	- Gallocatéchol	- Acide chlorogénique
- Quercétine	- Luteoline		- Acide gallique

Les polyphénols sont des composés bioactifs habituellement présents dans les fruits, les légumes, les légumineuses, les céréales, le chocolat et les boissons telles que les jus de fruits, le thé et le café. Ces métabolites secondaires peuvent agir en tant que piègeurs de radicaux libres responsables de l'initiation de l'oxydation, ainsi que d'antioxydants briseurs de chaîne, de désactivateurs de l'oxygène singulet, d'agents réducteurs, d'agents chélateurs des métaux et d'inhibiteurs d'enzymes oxydantes spécifiques dont les valeurs moyennes sont données dans le tableau 8 (Djenidi *et al.*, 2019).

Tableau 8 : Teneurs en composés phénoliques des extraits de petit pois (**Djenidi *et al.*, 2019**).

	Polyphénols µg EAG/ mg	Flavonoïdes µg EAG/ mg	Tannins µg EAG/ mg
Extraits de petit pois	259,2 ± 3,95	10,07 ± 0,80	9,06 ± 0,06

I.7.7. Facteurs antinutritionnels

Les facteurs antinutritionnels dans les pois comprennent des inhibiteurs de trypsine, des hémagglutinines (lectines), des tannins, des oligosaccharides et phytates. Les cultivars à tégument de couleur foncée contiennent plus de tanins, ce qui diminue leur digestibilité (**Brink et Belay, 2006**).

I.8. Utilisations du petit pois

L'espèce *Pisum sativum* fournit plusieurs types d'aliments tant pour l'homme que pour les animaux (**Benoît *et al.*, 2006 ; Brink et Belay, 2006**) :

- Pois frais (85% d'eau) : les graines sont récoltées au stade avant maturité. On obtient les petits pois verts de maraîchage classés comme légume frais.
- Pois sec (15% d'eau) : les graines sont récoltées à maturité au stade sec, soit le pois cassé classé comme un légume sec, soit le pois protéagineux destiné à l'alimentation animale.
- Jeunes pousses feuillées, sont aussi consommées en légume, particulièrement en Asie.
- La plante entière fournit un fourrage aux ruminants, soit en sec, soit en vert, frais ou ensilé. En général, on appelle pois fourrager tout type de pois destiné à l'alimentation animale, y compris les pois secs en grains qui sont appelés pois protéagineux.
- Le pois est aussi une plante importante dans une rotation, car il fixe l'azote atmosphérique et joue ainsi un rôle dans le rétablissement de la fertilité du sol (**Brink et Belay, 2006**).

I.9. Importance de la culture du petit pois

I.9.1. Importance nutritive

Frais ou secs, les pois ont en commun d'être des aliments riches en énergie et en protéines. Les pois secs sont comparables à d'autres légumineuses (haricots secs, lentilles, fèves sèches, pois chiches), et aux céréales par leur valeur énergétique (330 kcal/100 g) (**Sanchez-Monge *et al.*, 2004**).

Les protéines de petit pois ont une teneur élevée en lysine, sont toutefois déficientes en certains acides aminés essentiels comme la méthionine et le tryptophane. En les associant avec des aliments à base de céréales tel que le pain, qui sont au contraire déficients en lysine, on obtient une bonne complémentarité. Les pois sont une bonne source de minéraux et de vitamines B, notamment de (folate, vitamine B9) et vitamine C. Ils se distinguent également par leur très faible teneur en matières grasses. Ils sont plus riches en eau (74 %) et en sucres solubles que les pois secs (**Rémond et Walrand, 2017**).

I.9.2. Importance agronomique

Souvent, l'agriculteur est intéressé par la culture de pois visant ses atouts agronomiques. En effet, le pois est capable de fournir ses besoins en azote par une simple fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Cette fixation symbiotique d'azote se fait grâce à une interaction entre les plantes de pois et les souches de rhizobium qui sont des bactéries Gram négatif, en forme de bâtonnets mobiles. Ces bactéries induisent chez la plante la formation des nodules sur les racines. En grande culture, l'agriculteur peut utiliser le pois en tête de rotation pour profiter de l'enrichissement du sol en azote (**Broughton et Dilworth, 1971**).

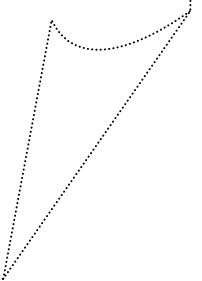
I.9.3. Importance médicinale

De nombreuses études ont montré que les régimes riches en fruits et légumes sont de bons antioxydants et peuvent réduire le risque de développement de nombreuses maladies associées au stress oxydatif (**Chahbani et al., 2018**).

Les composés phénoliques de petit pois peuvent protéger contre de nombreuses maladies chroniques, telles que les cancers, l'athérosclérose, le vieillissement, les maladies inflammatoires, cardiovasculaires et neurodégénératives. Ainsi, les propriétés de l'amidon et des fibres du pois en font un aliment à faible indice glycémique, et donc bénéfique dans la prévention et la gestion du diabète de type 2 (**Chahbani et al., 2018**).

Chapitre II

Séchage



II.1. Généralités

De tous temps, l'homme a recherché des méthodes pour conserver sa nourriture en empêchant et en retardant les principaux types de détérioration alimentaire, dont le séchage est l'un des procédés les plus utilisés (Maskan, 2001).

Le séchage est principalement utilisé pour les produits alimentaires à haute teneur en humidité (80%) tels que les fruits, les légumes et autres produits alimentaires considérés comme hautement périssables (Asioli *et al.*, 2019). C'est une opération unitaire qui consiste à éliminer totalement ou partiellement un liquide imprégnant un matériau par apport d'énergie thermique. Il consiste en sujets d'évaporation de l'eau et de composés volatils, réduisant la croissance des micro-organismes et des réactions chimiques non désirées telles que le brunissement enzymatique afin d'augmenter la vie du produit. Il aide à obtenir un produit sec et homogène à l'extrémité du séchage (Verdier *et al.*, 2016).

II.2. Principe et objectifs du séchage

II.2.1. Principe

Le séchage est une opération permettant de faire passer un produit de son état initial dit « humide » à un état final dit « solide sec ». Elle consiste à retirer une partie du solvant (le plus souvent l'eau) d'un corps, par vaporisation, afin d'obtenir un produit fini sous la forme d'un solide, d'un état divisé ou de poudre (Verdier *et al.*, 2016).

C'est une opération de séparation thermique, dans le sens qu'il faut fournir l'énergie de vaporisation du solvant, pour qu'il quitte le produit sous forme de vapeur (Verdier *et al.*, 2016). Cette énergie est obtenue grâce à une différence de pression partielle de vapeur d'eau entre la surface du produit à sécher et l'air environnant (Scherr, 1981) (Figure 4).

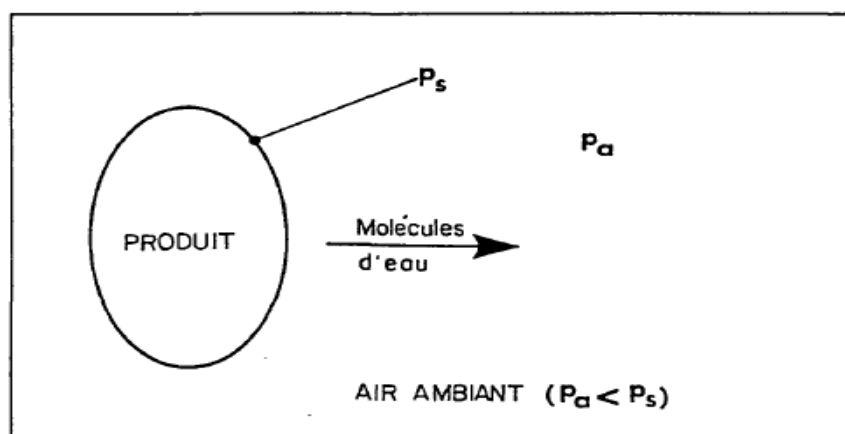


Figure 4 : Principe du séchage (Scherr, 1981).

La condition nécessaire et suffisante pour qu'un produit soit de séchage est (Scherr, 1981) :

$$P_s > P_a$$

P_s = pression partielle de vapeur d'eau à la surface du produit.

P_a = pression partielle de vapeur d'eau dans l'air.

II.2.2. Objectifs

L'objectif principal du séchage est de convertir les denrées périssables en produits stabilisés par abaissement de l'activité de l'eau dans les produits à traiter. L'utilisation du séchage dans l'industrie agro-alimentaire « IAA » à plusieurs d'autres objectifs, parmi eux (Li *et al.*, 2010) :

- Réduire la masse et le volume du produit afin de faciliter son transport, stockage et manutention ;
- Stabiliser les produits agricoles et amortir le caractère saisonnier de certaines activités ;
- Prolonger la durée de conservation des produits en réduisant à la fois la teneur en eau et l'activité de l'eau, ce qui les rend prêts à être utilisés à la demande (Cassanelli *et al.*, 2018) ;
- Offrir une meilleure préservation des composés nutritionnels des produits alimentaires (Asioli *et al.*, 2019) ;
- Obtenir la qualité et la quantité requises de produits avec un coût de séchage minimal (Ali et Parthasarathy, 2019).

II.3. Mécanismes intervenants au cours du séchage

Le séchage est une opération complexe qui met en jeu des transferts couplés de matière (d'eau essentiellement) et de chaleur (Mujumdar, 2014).

II.3.1. Transferts de la chaleur

Pendant le séchage, la chaleur est transférée au produit selon trois mécanismes :

Le séchage par conduction : le séchage est effectué en mettant directement le matériau en contact avec une surface chaude (enveloppe, plaque, ...) (Zhu et Hummer, 2012).

Le séchage par convection : l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau est apportée par un gaz chaud qui circule au contact du matériau à sécher. Ce dernier joue aussi le rôle de vecteur transportant la vapeur produite hors de l'enceinte de séchage (Esfahani *et al.*, 2015).

Le séchage par rayonnement : l'énergie est apportée par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques (Wang *et al.*, 2015).

II.3.2. Transferts de matière au cours du séchage

Le séchage se distingue des autres opérations de déshydratation par le fait que l'eau est enlevée du produit exclusivement par évaporation. Le processus doit ainsi, avoir pour force motrice le gradient de la pression partielle de vapeur d'eau entre la surface du produit et le milieu extérieur (Nguyen, 2015). Le milieu extérieur doit également assurer un débit de chaleur permettant de maintenir la surface du matériau à une température et de fournir la chaleur nécessaire à la vaporisation de l'eau (Esfahani *et al.*, 2015).

II.4. Types de séchage

II.4.1. Séchage non thermique

II.4.1.1. Lyophilisation

La lyophilisation est l'un des procédés les plus utiles pour le séchage de substances thermosensibles instables en solution aqueuse (Pellicer *et al.*, 2019). Elle est bien acceptée pour la production de produits séchés de haute qualité par sublimation sous vide (Wu *et al.*, 2019). Elle se fait par déshydratation à température suffisamment basse qui permet une meilleure consommation des constituants de base des produits (Amrani et Laglaoui, 2007). Cette technique consiste à ôter l'eau d'un produit liquide, pâteux ou solide, à l'aide de l'action combinée du froid et du vide. Le principe de base est que lorsqu'on réchauffe de l'eau à l'état solide à très basse pression, l'eau se sublime, c'est-à-dire qu'elle passe directement de l'état solide à l'état gazeux. Cette technique permet de conserver à la fois le volume et l'aspect du produit traité (Coulibaly *et al.*, 2011).

II.4.1.2. Séchage osmotique

La déshydratation osmotique est une opération employée pour le déplacement partiel de l'eau des tissus végétaux par immersion dans une solution hypertonique, de sucre et/ou saline, pour réduire la teneur en eau des nourritures avant le processus de séchage réel (Akbarian *et al.*, 2014). Elle facilite le traitement des fruits et légumes tels que la banane, la figue, l'ananas, les raisins, les carottes (Chavan et Amarowicz, 2012).

II.4.2. Séchage thermique

II.4.2.1. Séchage par entraînement

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz (air le plus souvent) suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle de vapeur d'eau. Sous l'effet de l'écart de température, la chaleur se transfère de l'air vers le produit. Cependant l'eau se transfère dans le sens inverse sous l'effet de l'écart de la pression de vapeur (Kamble *et al.*, 2015).

II.4.2.2. Séchage par ébullition

Un séchage par ébullition a lieu lorsque le flux thermique transféré au produit est très intense à cause d'un écart de température très élevé entre la source chaude et le produit. La température d'ébullition dépend à la fois de la pression totale et de l'activité de l'eau (**Djerroud et al., 2010**). L'ébullition proprement dite s'observe difficilement dans les solides ou les corps pâteux que dans les liquides (**Perkin, 1980**).

II.4.2.3. Séchage à l'air libre

Le séchage à l'air libre est réalisé dans l'ombre, avec une circulation naturelle de l'air. La température moyenne de la chambre est de 22 ± 2 °C. Le séchage est contrôlé par convection naturelle (**Hossain et al., 2003**).

II.4.2.4. Séchage à l'étuve

Dans ce type de séchage, l'air chauffé est mis en contact avec le matériel humide pour faciliter la chaleur et le transfert massif ; la convection est principalement impliquée. Il faut préciser la consigne de température de l'étuve, le temps de séjour, et la taille de l'échantillon à tester. Le choix de ces deux critères (taille et temps de séjours) doit être adapté au rapport surface/volume (**Bonazzi et Bimbenet, 2003**).

II.4.2.5. Séchage par four à micro-ondes

Le séchage par four à micro-ondes appartient au type de séchage par ébullition et obéit à un transfert de chaleur par rayonnement. C'est une technologie de traitement biologique car il s'agit d'un traitement minutieux et minimal, qui implique le chauffage et le transfert de masse, où la vapeur est générée à l'intérieur d'un produit alimentaire, puis diffusée par le biais du gradient de pression interne. Il est capable de conserver une plus grande quantité de composés bioactifs naturels, retenir de grandes quantités de composés phénoliques, d'anthocyanines et de capacités antioxydantes, en préservant mieux les propriétés sensorielles (**Asioli et al., 2019**). Il est très efficace pour les produits ayant une teneur en eau inférieure à 20 %, et représente une alternative pour améliorer la qualité des produits déshydratés (**Calvache et al., 2015**).

➤ Four à micro-ondes

Les fours à micro-ondes ou hyperfréquences sont des ondes électromagnétiques non ionisantes, composées d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Les fréquences des fours à micro-ondes se situent dans le domaine des fréquences allant de 300 MHz à 300 GHz ce qui correspond à une longueur d'onde de 1 millimètre à 1 mètre.

La fréquence la plus utilisée est 2450 MHz correspondant à la fréquence de la majorité des magnétrons des fours à micro-ondes de cuisine ayant une puissance de 600 à 1000 W et une longueur d'onde dans l'air de 12,2 cm (Chandrasekaran *et al.*, 2013).

➤ **Fonctionnement d'un four à micro-ondes**

L'énergie électrique apporté alimente le magnétron qui convertit l'énergie électrique en champ électromagnétique et par un guide d'onde (tube rectangulaire en métal), les micro-ondes produites sont dirigées vers l'agitateur d'onde et pénètrent dans l'enceinte métallique où se trouve l'aliment à chauffer sur une plaque tournante (Figure 5), ce qui permet au produit alimentaire d'être exposé aux micro-ondes qui pénètrent l'aliment pour atteindre les molécules d'eau (Chandrasekaran *et al.*, 2013).

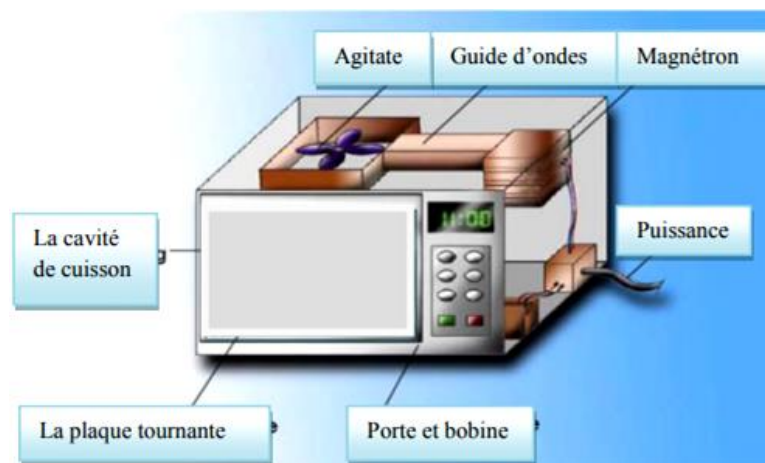


Figure 5 : Schéma d'un four à micro-ondes (Mathavi *et al.*, 2013).

➤ **Mécanisme de séchage par four à micro-ondes**

Le séchage par four à micro-ondes transforme l'énergie électromagnétique à haute fréquence en chaleur, de sorte que l'humidité liquide contenue dans l'aliment est évaporée de manière intensive et transportée vers la surface du produit alimentaire (Asioli *et al.*, 2019).

Deux types de mécanismes sont à l'origine de l'échauffement, le premier est relatif à la présence de charges libres, le deuxième est lié à la nature polaire des molécules.

Dans le premier cas, les charges électriques libres (ions) soumises à un champ électrique E , vont migrer dans le sens du champ et sont à l'origine d'un courant de conduction. Il s'agit du mécanisme de conduction ionique. Les oscillations de ces charges, gênées par la présence de molécules fixes, produisent un échauffement par chocs.

Dans le deuxième cas, les matériaux composés de molécules formant des dipôles électriques, de répartition généralement aléatoire, s'orientent dans le sens du champ électrique extérieur imposé. Dans le cas d'un champ électrique alternatif, les dipôles changent « rapidement » de sens et la haute fréquence génère un mouvement aléatoire traduisant ainsi une haute température du système (Chandrasekaran *et al.*, 2013) (Figure 6).



Figure 6 : Mouvement d'un dipôle dans un champ électrique (Singh et Heldman, 2001).

- **Paramètres influençant le séchage par four à micro-ondes**
 - **Propriétés diélectriques des aliments**

Dans le traitement four à micro-ondes, seules les propriétés électriques du matériel à chauffer sont importantes pour la dissipation de l'énergie électrique en chaleur.

- **Puissance des micro-ondes**

La puissance des micro-ondes est en réalité une densité de puissance (ou puissance volumique) dissipée dans le produit. L'énergie des micro-ondes en elle-même n'est pas une énergie thermique. La chaleur provient plutôt de la résultante de l'interaction entre l'énergie des micro-ondes et le matériau (Copson, 1975).

- **Profondeur de pénétration de four à micro-ondes**

L'absorption progressive de la puissance est caractérisée par la profondeur de pénétration (d_p). Elle est définie comme la profondeur dans le matériau pour laquelle le transfert de l'onde a été réduit de 37 % par rapport à la puissance entrante (Buffler, 1993).

- **Effet du facteur de perte**

Le facteur de perte " ϵ'' " d'un matériau varie avec sa température, sa teneur en eau et la fréquence du champ électrique qui lui est soumis (Sosa-Morales *et al.*, 2010).

➤ **Avantages et inconvénients**

Selon plusieurs recherches le séchage assisté par four à micro-ondes présente plusieurs avantages tels que :

- Réduction du temps de séchage de 99%, par rapport au séchage par étuve ou bien au soleil ;
- Amélioration de la qualité de quelques produits déshydratés ;
- efficacité du séchage ;
- Facilité d'utilisation et la simplicité de la méthode avec généralement de bons rendements ;
- Une plus longue durée de conservation des aliments déshydratés allant à plusieurs mois ;
- La désactivation des enzymes responsables de la dégradation des aliments ;
- L'inhibition de la croissance des micro-organismes grâce à la réduction de l'activité de l'eau ;
- Sa capacité à être utilisée à des fins commerciales permettant de limiter les pertes de récoltes ;
- La diminution des coûts financiers et environnementaux liés au transport des marchandises grâce à la réduction de la masse et du volume (**McSweeney et Seetharaman, 2015 ; Wray et Ramaswamy, 2015**).

Cependant, ce type de séchage présente des inconvénients comme :

- Son coût élevé ;
- La nécessité de l'associer à un séchage à air chaud ;
- Etouffement des produits alimentaires ;
- Changement de la texture qui pourrait être indésirable selon le produit final.

Mais le séchage inégal (non uniforme) reste l'inconvénient majeur (**Zhang, 2006 ; Gowen et al., 2008**).

➤ **Application industrielle de séchage par four à micro-ondes dans le domaine agroalimentaire**

Le séchage par four à micro-ondes des produits alimentaires a fait l'objet de très nombreuses recherches sur divers produits. Selon la littérature, il est utilisé pour plusieurs études de séchage de matrice dans le domaine agroalimentaire. Le tableau 9 résume quelques travaux sur son application industrielle.

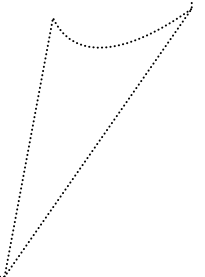
Tableau 9 : Résumé de quelques travaux de séchage par four à micro-ondes.

Titre de l'étude	Matrice	Objectif	Référence
Effets du séchage par micro-ondes sur le séchage cinétique, les composés bioactifs et l'activité antioxydante des pois verts (<i>Pisum sativum</i> L.)	Petit pois	Les effets de puissance sur la cinétique de séchage des pois verts	(Chahbani <i>et al.</i> , 2018)
Effet de l'humidité relative sur le séchage de la carotte au four à micro-ondes.	Carotte	Étudier l'influence de l'humidité relative sur la qualité du produit au cours du processus de séchage par micro-ondes	(Pu <i>et al.</i> , 2016)
Séchage des cerises acides par four à micro-ondes et sous vide : comparaison de modèle mathématique et de réseau de neurones artificiels	Cerises acides	Etude du comportement à la dessiccation des cerises acides et détermination de la consommation d'énergie spécifique pour le séchage des cerises acides	(Motavali <i>et al.</i> , 2013)
Influence du séchage combiné au four à micro-ondes sous vide sur la cinétique de séchage et la qualité des tranches de tomate séchée	Tomate	Etudier l'influence de la puissance du four à micro-ondes et de la pression sous vide sur la cinétique de séchage, la diffusivité de l'humidité et l'énergie d'activation pour l'élimination de l'humidité des tranches de tomates	(Abano <i>et al.</i> , 2012)
Séchage au micro-onde de tranches de haricots verts : cinétique de séchage et qualité physique	Haricots verts	Déterminer l'effet des puissances sur la cinétique de séchage, ainsi le rapport de réhydratation et les valeurs de couleur	(Doymaz <i>et al.</i> , 2015)
Séchage de l'ail (<i>allium sativum</i>) par combinaison four à micro-ondes / air chaud	Ail	Explorer la possibilité d'utiliser la technique combinée de séchage par convection four à micro-ondes pour le traitement de l'ail et l'évaluation de la qualité du produit fini	(Sharma et prasad, 2001)

II.4.2.6. Détente Instantanée Contrôlée (DIC)

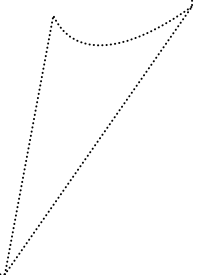
Dans les procédés modernes de séchage, comme la lyophilisation, le séchage par four à micro-ondes, le séchage à la vapeur surchauffée, ont permis d'améliorer la qualité, sans pour autant répondre à la problématique de décontamination microbiologique. De plus, leur coût élevé limite leur utilisation aux seuls produits à haute valeur ajoutée (produits pharmaceutiques ...) (**Nguyen, 2015**). Aujourd'hui, il est possible d'ajouter à cette liste le « Swell-drying » qui a été défini comme un couplage du séchage par air chaud et une texturation par Détente Instantanée Contrôlée (DIC). La DIC permet de traiter une large gamme de produits, malgré leur éventuelle fragilité thermique, améliorant considérablement la vitesse de séchage et la qualité du produit (**Mounir et al., 2012**). Ainsi, le produit fini a un contenu en vitamines supérieur aux produits séchés classiquement, sans pour autant atteindre le niveau d'un produit lyophilisé. Cependant, la DIC permet une préservation de la couleur, une disponibilité des flavonoïdes (**Mounir et al., 2011**), et une activité antioxydante élevées. En plus, la DIC assure, à travers une décontamination microbiologique partielle et une complète désinsectisation, une augmentation de la durée de vie des produits (**Nguyen, 2015**).

Etude expérimentale



Chapitre III

Matériels et méthodes



Notre étude porte sur l'influence du séchage sur la qualité physico-chimique et nutritionnelle des petits pois récoltés dans la région de Texenna (Jijel). Ce travail a été réalisé au niveau des laboratoires de la faculté des sciences de la Nature et de la Vie de l'Université MSB de Jijel. Il a pour objectif d'évaluer les concentrations en composés phénoliques totaux, flavonoïdes et en chlorophylles dans les petit pois soumis à différents procédés de séchages et à températures variables. L'étude a été réalisée durant la saison de printemps 2019 sur les récoltes des légumineuses de la même saison.

III.1. Matériels utilisés

III.1.1. Appareillage

L'ensemble du matériel utilisé lors de notre étude est le suivant :

- ❖ Micro-onde TGOMSON model THW-M23W ;
- ❖ Balance de précision Kern 440 ;
- ❖ Bain à Ultrasons ;
- ❖ Broyeur électrique ;
- ❖ Centrifugeuse ;
- ❖ Etuve ;
- ❖ Four à moufle ;
- ❖ Spectrophotomètre UV ;
- ❖ Tamis 500 μm ;
- ❖ Vortex Genius 3 – IKA.

III.1.2. Produits chimiques

Les produits chimiques et réactifs utilisés lors de notre étude se résument en :

- ❖ Ethanol ;
- ❖ Méthanol ;
- ❖ Carbonate de sodium (Na_2CO_3) ;
- ❖ Folin-ciocalteu ;
- ❖ Chlorure d'aluminium (AlCl_3) ;
- ❖ Tampon phosphate (K_2HPO_4) ;
- ❖ Acide trichloro-acétique (TCA) ;
- ❖ Acétone ;
- ❖ Chlorure de fer (III) (FeCl_3) ;
- ❖ Eau distillée ;
- ❖ DPPH.

III.2. Récolte du matériel végétal

Le matériel végétal utilisé a été récolté le mois de Mai 2019 environ 3 kg, dans la région de Texenna, wilaya de Jijel, au Nord-est de l'Algérie. La variété se caractérise par une couleur vert foncé à maturité (Figure 7).



Figure 7 : Photographie de petit pois récoltés.

III.3. Séchage

Une fois au laboratoire, un tri préliminaire a été effectué (élimination des gousses perforées, cassées, endommagées, portant des taches, pourries ou présentant des dégâts causés par des insectes nuisibles). Ensuite, les pois ont été lavés abondamment à l'eau de robinet et à l'eau minérale, puis décortiqués, et les graines ont été récupérées dans une boîte bien fermée.

Des échantillons de 60 g de petit pois (*Pisum sativum*) ont été séchés par deux méthodes (Figure 8) :

- Séchage à l'étuve : à 3 températures différentes 40, 60 et 80 °C.
- Séchage au four à micro-ondes : à 4 niveaux de puissance 100, 240, 400 et 640 W.

Le séchage par les puissances 100W et 240W a été réalisé par deux méthodes (avec et sans blanchiment). Le blanchiment a été réalisé dans de l'eau bouillante pendant 2 minutes.

Pour le séchage par four à micro-ondes, la perte de masse a été suivie périodiquement (chaque 60 secondes), jusqu'à avoir une valeur constante.

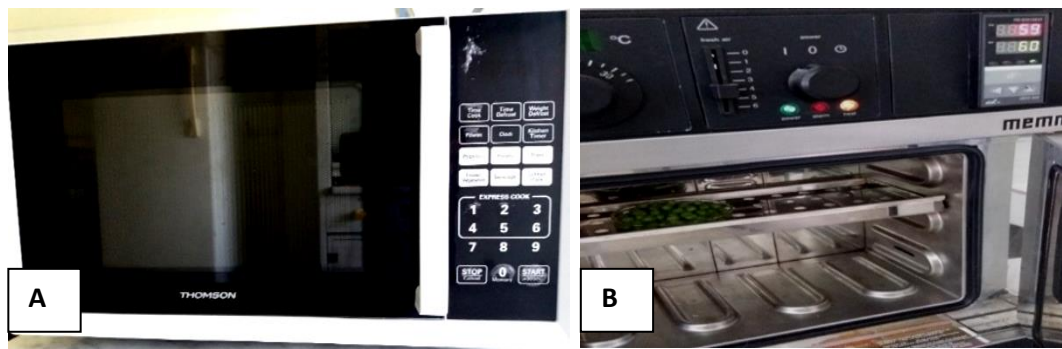


Figure 8 : Photographie du four à micro-ondes (A), et de l'étuve (B)

- **Broyage et tamisage**

Après l'obtention d'une masse constante pour les deux types de séchage, four à micro-ondes et étuve, les échantillons obtenus et un échantillon de l'état frais (témoin) ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique. Les poudres ainsi obtenues ont été tamisées à l'aide d'un tamis de 500 μm et conservées dans des boîtes à l'abri de la lumière et de l'humidité pour des utilisations ultérieures (Figure 9).

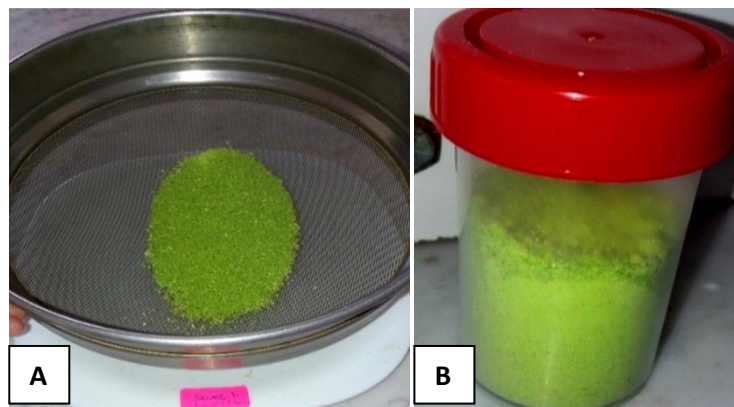


Figure 9 : Photographie de tamisage (A), flacon contient une poudre obtenue (B).

III.4. Etude de la composition des poudres de petit pois

Les analyses physico-chimiques, le dosage des principes actifs, et l'estimation de l'activité antioxydante des extraits de poudres et de l'état frais (témoin), ont été réalisés au sein de laboratoire de l'université de Jijel.

III.4.1. Analyses physico-chimiques

III.4.1.1. Teneur en eau (humidité)

- **Principe**

La teneur en eau est déterminée sur trois échantillons de petit pois dont chacun d'entre eux contient 1 g, déposé sur une assiette en verre à montre, puis séché dans une étuve, à une température de 103 ± 2 °C pendant 3 heures (Schulze *et al.*, 2014)

- **Expression des résultats**

La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante (Doymaz, 2004) :

$$H\% = (M_1 - M_2) / P \times 100$$

Où :

H% : Humidité ;

M₁ : Masse de la capsule + matière fraîche avant séchage en g ;

M₂ : Masse de l'ensemble après séchage en g ;

P : Masse de la prise d'essai en g.

III.4.1.2. Capacité d'hydratation

Le taux d'absorption de l'eau, ou la capacité d'hydratation exprime la quantité maximale d'eau pouvant être absorbée par les graines séchées à température 22 ± 2 °C (Lucie, 2010).

- **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en quantité d'eau absorbée par gramme de graines (g/graines) selon la formule suivante :

$$\text{Capacité d'hydratation} = (P_1 - P_0) / N$$

Où :

P₁ : le poids des graines après trempage ;

P₀ : le poids des graines avant trempage ;

N : le nombre des graines.

L'indice d'hydratation est calculé par la formule suivante :

$$\text{Indice d'hydratation} = \text{capacité d'hydratation} / \text{poids d'une seule graine}$$

III.4.1.3. Teneur en matière minérale (Cendres)

- **Principe**

Les cendres d'un matériel biologique représentent les résidus inorganiques obtenus après calcination de la matière organique. Ces cendres, généralement de couleur blanchâtre, donne une idée sur la quantité d'éléments minéraux présents dans l'aliment (**Treche, 1986**).

La teneur en cendre des échantillons séchés est déterminée suivant la méthode décrite par **Treche (1986)**.

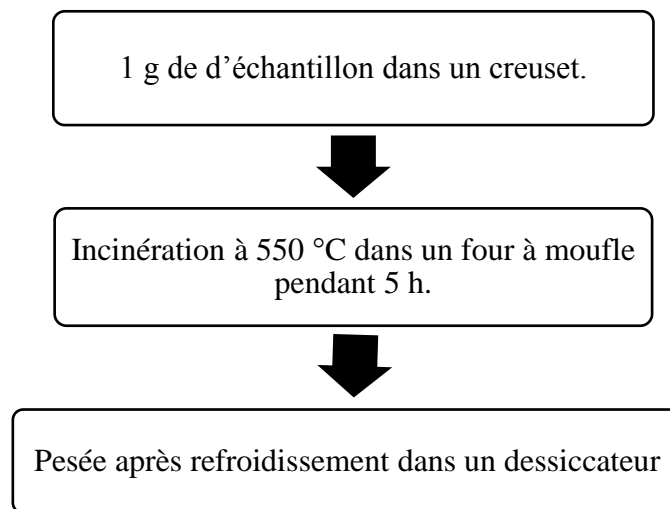


Figure 10 : Protocole de dosage des cendres (**Treche, 1986**).

- **Expression des résultats**

Selon la formule ci-dessous on détermine le pourcentage des cendres (**Treche, 1986**) :

$$C_r = (M_m - M_c) / (M_0 - M_c) \times 100$$

Où :

C_r : Cendre ;

M_m : Masse de l'échantillon après l'incinération ;

M_c : Masse des creusets ;

M_0 : Masse de l'échantillon avant l'incinération.

Le pourcentage de matière organique est calculé par la formule :

$$MO \% = MS - MM$$

III.5. Procédures d'extraction des composés phénoliques

Pour extraire les composés phénoliques de la poudre de petit pois, nous avons opté pour le protocole décrit par **Dairi et al. (2014) modifié** : un volume de 20 ml de l'éthanol/eau (v/v) est additionné à 3 g de la poudre dans un erlenmeyer. L'ensemble est placé sur un agitateur magnétique multipostes avec agitation de 300 tr pendant 2 h. Le mélange est ensuite centrifugé à 4000 tr/min pendant 15 min et les surnageants sont recueillis et conservés à 4 °C jusqu'à utilisation.

III.6. Principes actifs

III.6.1. Dosage des composés phénolique totaux (PPT)

- **Principe**

La concentration de la teneur en composés phénoliques totaux a été estimée en utilisant le réactif Folin-Ciocalteu. Le réactif est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3 PW_{12} O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3 PMO_{12} O_{40}$), il est réduit lors de l'oxydation des phénols, en un mélange bleu de tungstène et de molybdène. La coloration produite, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (**Samydurai et Thangapandian, 2012**).

- **Mode opératoire**

La teneur en polyphénols des extraits de poudres, a été quantifiée en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu, en se référant à la méthode décrite par **Georgé et al. (2005)**.

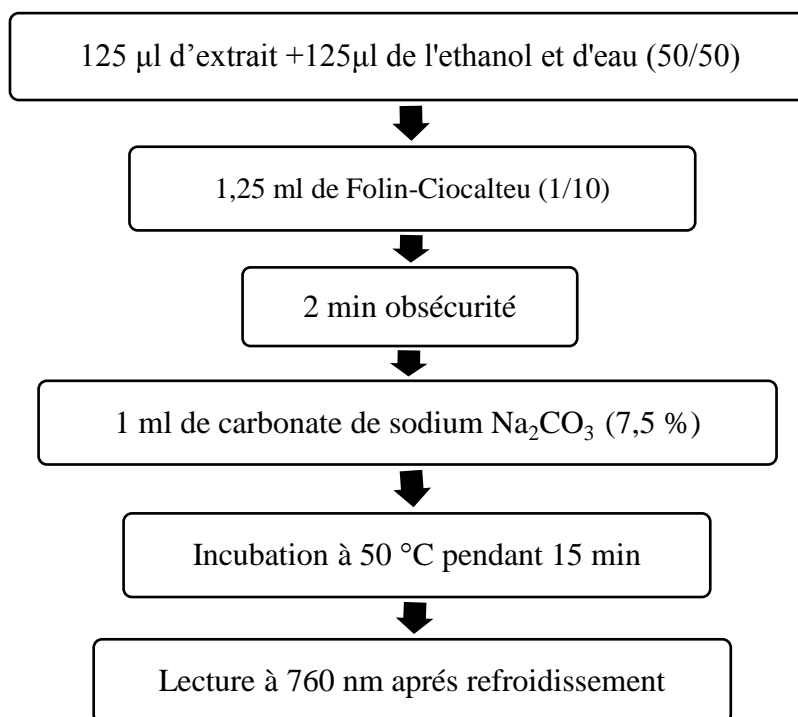


Figure 11 : Protocole de dosage des composés phénoliques (**Georgé et al., 2005**).

- **Expression des résultats**

La teneur en polyphénols totaux des extraits de poudres a été déterminée graphiquement par régression linéaire de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique (Annexe I).

III.6.2. Dosage des flavonoïdes

- **Principe**

Les flavonoïdes ont été mesurés par un dosage colorimétrique basé sur la méthode de trichlorure d'aluminium (AlCl_3) (**Khennouf et al., 2010**).

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner un complexe avec le groupement (CO) de chlorure d'aluminium. Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux du fer et aluminium (**Ribéreau-Gayou et al., 1982**).

- **Mode opératoire**

Le dosage des flavonoïdes a été effectué selon la méthode de **Ghafar et al (2010)**.

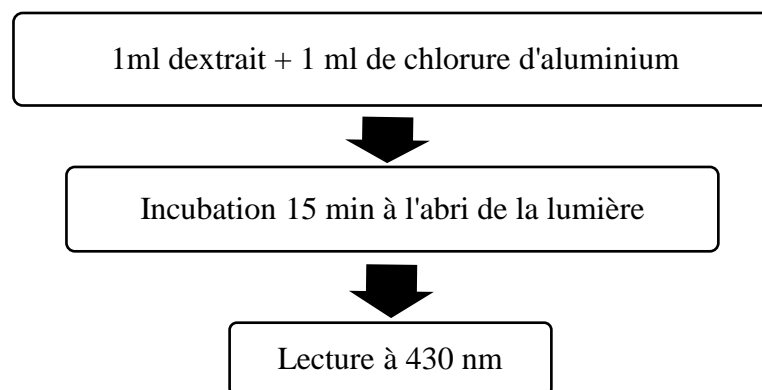


Figure 12 : Protocole de dosage des flavonoïdes (**Ghafar et al., 2010**).

- **Expression des résultats**

La teneur en flavonoïdes des extraits a été déterminée graphiquement par régression linéaire de la courbe d'étalonnage de la rutine (Annexe II).

III.6.3. Dosage des caroténoïdes, des Chlorophylles ‘ α ’ et ‘ β ’

Le dosage de la chlorophylle a été effectué en utilisant la méthode décrite par **Lichtenthaler et al. (1982)**. Elle est basée sur la mesure des différentes absorbances pour chacune des chlorophylles ‘ α ’ et ‘ β ’ et des caroténoïdes.

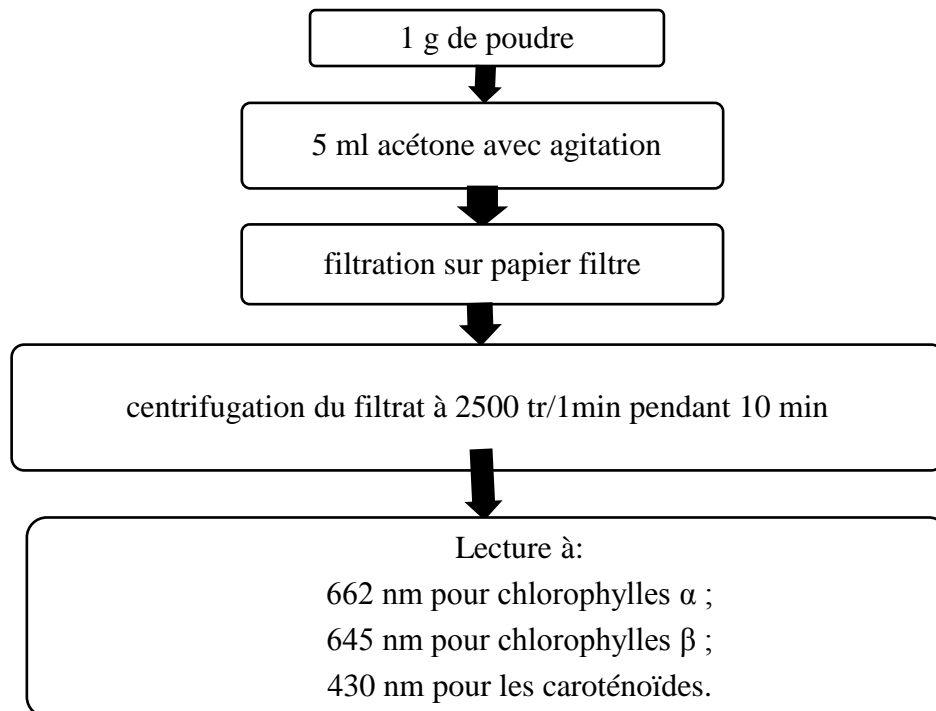


Figure 13 : Protocole de dosage des caroténoïdes et des chlorophylles α et β (Lichtenthaler *et al.*, 1982).

- **Expression des résultats**

Les concentrations des chlorophylles (α , β) et des caroténoïdes dans l'échantillon ont été calculées à l'aide des formules suivantes (Şükran *et al.*, 1998) :

$$C_a (\mu\text{g/ml}) = 11,75 A_{662} - 2,35 A_{645}.$$

$$C_b (\mu\text{g/ml}) = 18,61 A_{645} - 3,96 A_{662}.$$

$$C(x+c) (\mu\text{g/ml}) = (1000 A_{470} - 2,13 C_a - 97,64 C_b) / 209.$$

Où :

C_a : chlorophylle "α".

C_b : chlorophylle "β".

A_{662} : absorbances d'échantillons à 662 nm.

A_{645} : absorbances d'échantillons à 645 nm.

III.7. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits de petit pois

L'activité antioxydante de l'extrait de la poudre de *Pisum sativum* est évaluée par le test du radical 1,1-diphényl-2-picryl-hydzyl (DPPH[•]) et l'estimation de pouvoir réducteur.

III.7.1. Test de mesure du pouvoir antioxydant (test DPPH[•])

- **Principe**

L'activité anti-radicalaire des extraits est déterminée en utilisant le radical stable DPPH[•] (Dudonne, *et al.*, 2009). A température ambiante et en solution, le radical DPPH[•] (2,2 diphényl,1, picrylhydrazyle) présente une coloration violette intense. Son passage à la forme non radicalaire, après saturation de ses couches électriques par un antioxydant s'accompagne de la disparition de la couleur violette (Figure 14) (Boulekbache-Makhlouf *et al.*, 2013).

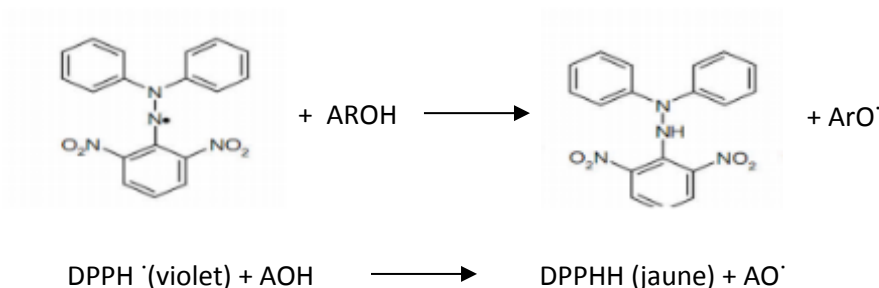


Figure 14 : Réaction d'une structure polyphénolique avec le radical DPPH[•] (Dudonne *et al.*, 2009).

- **Mode opératoire**

Le test DPPH[•] est réalisé selon la méthode décrite par Guetchueng *et al.* (2015).

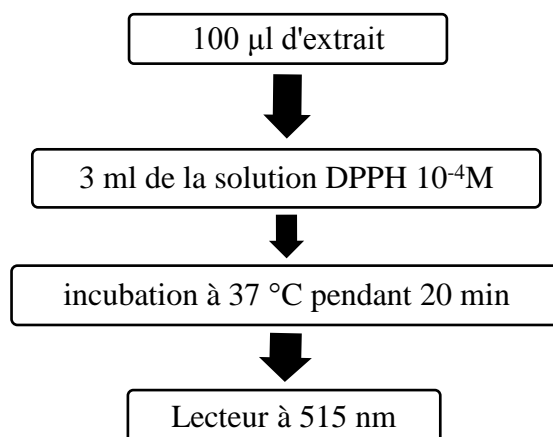


Figure 15 : Test de DPPH[•] (Guetchueng *et al.*, 2015).

- **Expression des résultats**

Les résultats peuvent être exprimés en tant qu'activité anti-radicalaire ou en pourcentage d'inhibition des radicaux libres en utilisant la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition du DPPH} = (AC - AE / AC) \times 100$$

Où :

AC : Absorbance du contrôle ;

AE : Absorbance d'échantillon.

III.7.2. Détermination du pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur des extraits a été déterminé en utilisant la méthode basée sur la réduction de ferricyanure de potassium (**Oyaizu, 1986**). La présence des agents réducteurs dans les extraits induit la réduction de l'ion ferrique (Fe^{+3}) à l'ion ferreux (Fe^{+2}). Cette réduction est mesurée par l'intensité de la couleur verte bleue qui en résulte.

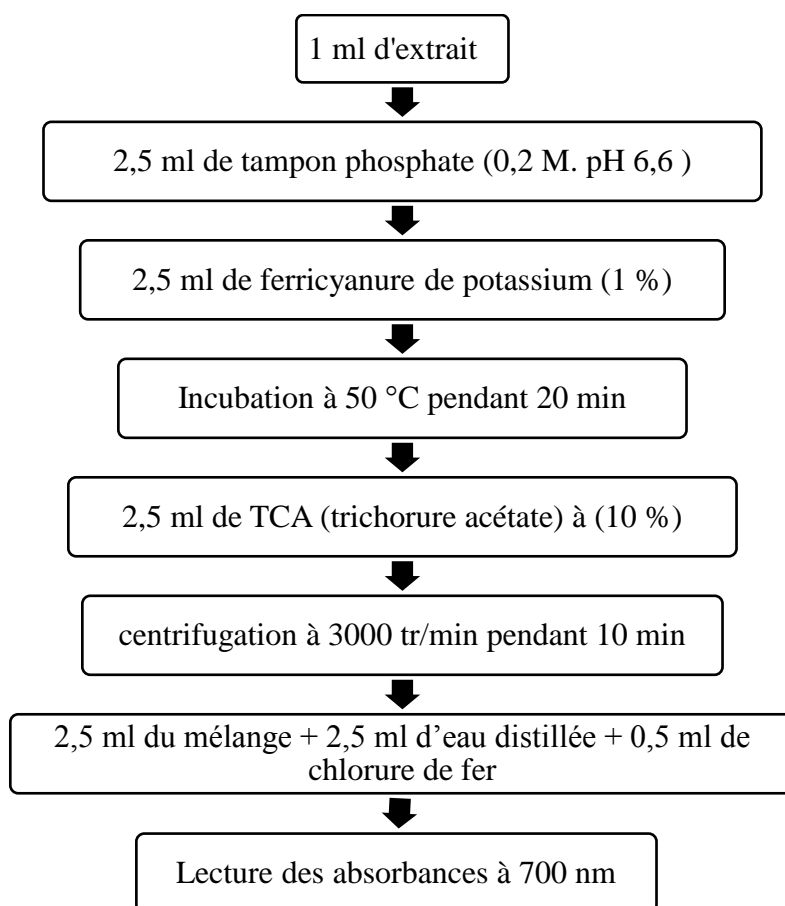


Figure 16 : Réalisation du test de détermination du pouvoir réducteur (**Oyaizu, 1986**).

- **Expression des résultats**

Le pouvoir réducteur des extraits a été déterminé graphiquement par régression linéaire de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique (Annexe III).

III.8. Analyse de la couleur

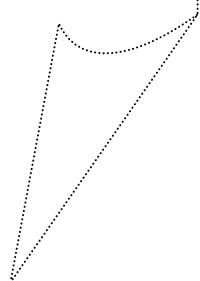
Selon la méthode de **Kelebek et al. (2008)**, en mesurant l'absorbance des extraits à la longueur d'onde 420 nm pour déterminer l'indice de brunissement de chaque extrait.

III.9. Analyse statistique

La comparaison des résultats de différents paramètres (PPT, Flavonoïdes, chlorophylles α et β , caroténoïdes, DPPH et pouvoir réducteur) est réalisée par l'analyse de la variance, ANOVA (STATISTICA 5.5) et le degré de signification des données est pris à la probabilité $P < 0,05$.

Chapitre IV

Résultats et discussion



Dans ce travail nous nous sommes intéressés à étudier l'influence des procédés de séchage (étuve et four à micro-ondes) de petit pois sur la qualité nutritionnelle, les paramètres physico-chimiques et l'activité antioxydante. Les résultats que nous avons obtenus sont résumés, rassemblés et discutés dans ce chapitre.

IV.1. Cinétiques de séchage de petit pois

L'évolution de la perte de masse en fonction du temps pour les différentes températures sont représentées dans la figure 17.

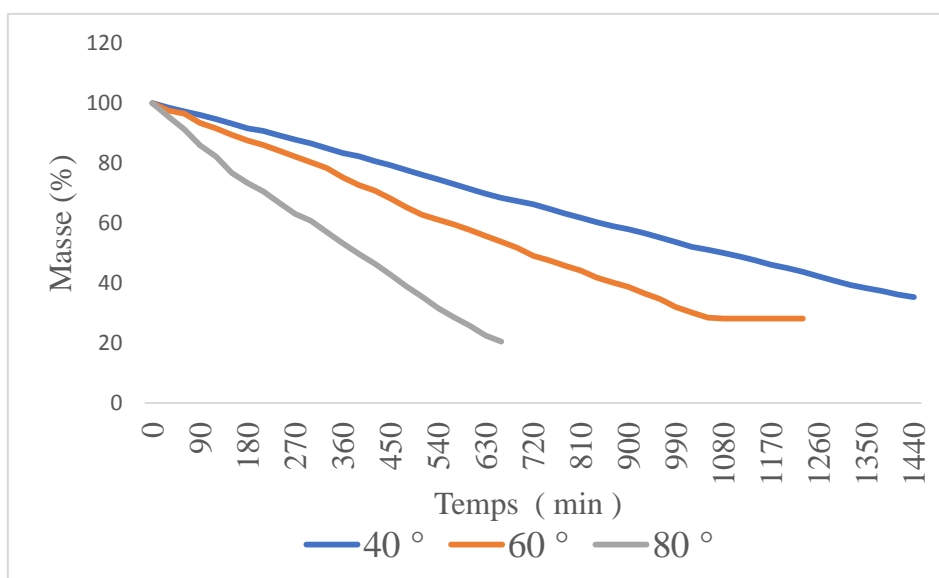


Figure 17 : Evolution de la perte de masse en fonction de différentes températures (40, 60, 80 °C).

D'après les résultats de la courbe (Figure 17), on constate que le temps mis pour la stabilisation du poids de l'échantillon séché est en fonction de la température utilisée. Dans le cas de séchage à 40 °C, pour la stabilité du poids de petit pois il a fallu 1440 min (24 h). Par contre, pour le même poids d'échantillon séché à l'étuve à 60 et 80 °C, le temps pris pour la stabilité du poids est de 1230 (20h 50min) et 660 min (11 h) respectivement.

On a aussi constaté la non existence des phases 0 et 1, c'est-à-dire l'absence de la phase de mise en température du produit et celle de séchage à allure constante, et la présence uniquement de la phase de séchage à allure décroissante.

Bimbenet et al. (1985), ont signalé que la période de mise en température disparaît pratiquement lorsque le produit est en particules ou en feuilles et que la période à allure constante n'est pas observée dans de nombreux cas lorsqu'il s'agit de produits végétaux. Ceci apparaît nettement dans la figure 17 qui présente une allure décroissante dès le début du séchage.

L'évolution de la perte de masse en fonction du temps pour les différentes puissances sont représentées dans la figure 18.

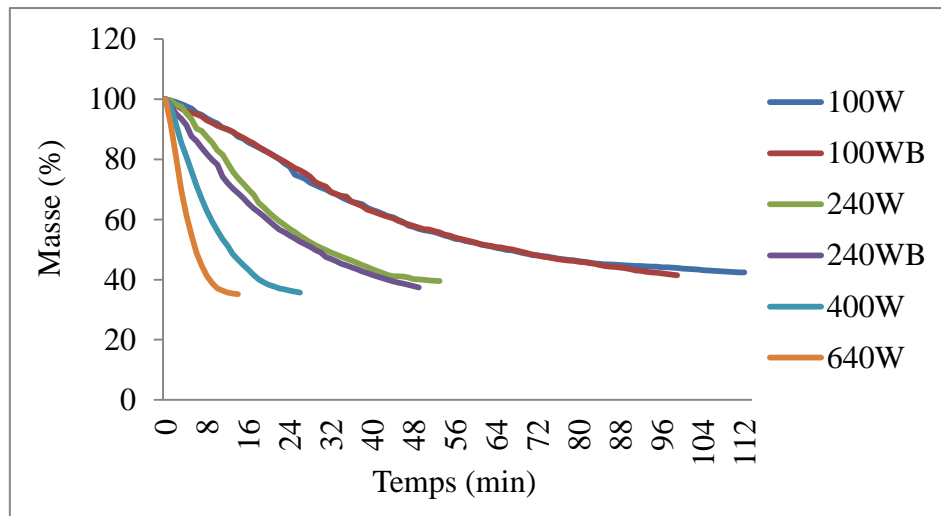


Figure 18 : Evolution de la perte de masse en fonction de différentes puissances.

Les cinétiques montrent que les pertes de poids des petits pois sont en fonction des puissances de traitement. On remarque que le laps de temps de séchage le plus long est attribué au petit pois séché à la puissance 100W. Pour atteindre le poids stable, il a fallu 112 min (1 h 80 min), par contre pour atteindre la stabilité du même poids d'échantillon il a fallu 26 min et 14 min à 400W et 640W respectivement.

Pour bien comparer les résultats de la perte de masse en fonction du temps des deux techniques de séchage, étuve et four à micro-ondes, on a calculé les vitesses de séchage (Tableau 10), et le temps pris par chaque méthode (Figure 19).

Tableau 10 : Vitesses de séchage en fonction de la température et de la puissance.

Températures (°C)	Vitesse (g/min)	Puissance (W)	Vitesse (g/min)
40	$2,69 \cdot 10^{-2}$	100	$29,8 \cdot 10^{-2}$
60	$3,5 \cdot 10^{-2}$	100B	$39,0 \cdot 10^{-2}$
80	$7,2 \cdot 10^{-2}$	240	$68,4 \cdot 10^{-2}$
/	/	240B	$75,4 \cdot 10^{-2}$
/	/	400	$93,4 \cdot 10^{-2}$
/	/	640	$177,6 \cdot 10^{-2}$

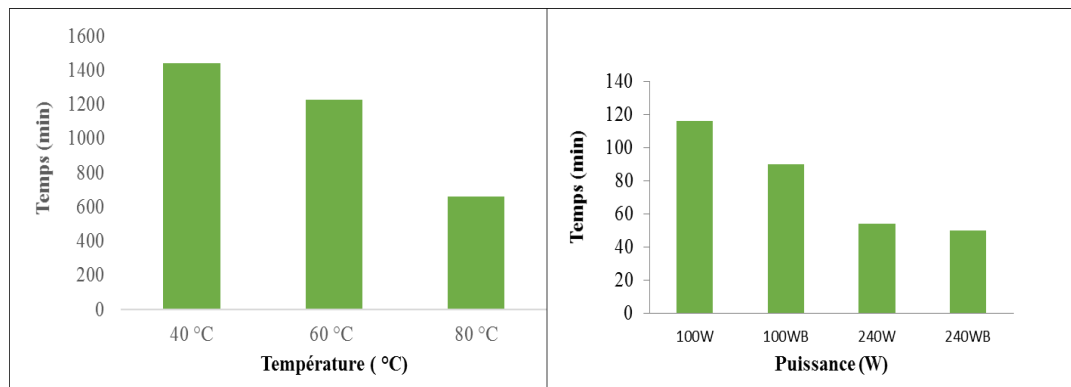


Figure 19 : La relation temps, température et temps, puissance.

D'après nos résultats, le temps de séchage à l'étuve est inversement proportionnel à la température appliquée. En effet, la déshydratation à 40 °C nécessite 1440 min (24 h) avec une vitesse très lente, et à 80 °C un temps de 660 min (11 h) à une vitesse plus rapide (Tableau 9). Ces résultats sont similaires à ceux rapportés dans la littérature par **Doymaz et Kucuk (2017)**, qui a montré que le temps de séchage est inversement proportionnel à la température appliquée. Selon **Cheftel et al. (1976)**, plus la température augmente plus la vitesse d'évaporation est élevée, et plus le temps est court (Figure 19).

Pour d'autres auteurs **Bonnazi et Bimbenet (2003)**, la stabilité du poids (la partie linéaire de la courbe) peut être expliquée par le fait que la température de la surface atteint celle de l'air de séchage car la force de migration de l'eau de l'intérieur vers la surface est insuffisante. D'autre part, il est également possible qu'il n'y ait plus d'eau libre dans le produit donc l'humidité de surface est en équilibre avec l'humidité de l'air de séchage, ce qui signifie que le séchage est terminé.

Le temps de séchage par four à micro-ondes est en fonction de la puissance de traitement. En effet, la durée la plus longue est de 116 min, qui correspond à 100W et la plus courte est attribuée à 640W avec une vitesse plus rapide $177,6 \cdot 10^{-2}$ (Tableau 10). Ces résultats sont identiques à ceux de **Ghanem et al. (2012)**, qui ont démontré que le taux de déshydratation augmente proportionnellement avec les puissances de four à micro-ondes, plus le niveau de puissance est grand, plus le temps de séchage est réduit. Ce phénomène a été expliqué de la même manière par **Chahbani et al. (2018)**.

Pour les échantillons traités avec blanchiment, la durée de séchage est plus courtes comparée à ceux sans blanchiment (à 100W 116 min et 100WB 90 min) (Figure 19). Cela revient au fait que le blanchiment permet le dégazage des gaz qui se trouve dans les pores de petit pois, et qui provoque par la suite des fissures donc la facilité de libération d'eau. Ces résultats sont identiques à ceux de **Doymaz et Kucuk (2017)**, qui ont démontré que le blanchiment réduit le temps de séchage.

Des résultats similaires ont été obtenus dans une autre étude faite par **Mishra (2016)** sur le petit pois.

La comparaison entre les deux types de séchage appliqués par étuve et four à micro-ondes, a montré que l'utilisation de four à micro-ondes réduit considérablement le temps de séchage. En effet, le séchage dans l'étuve à 80 °C nécessite 11 h, contre 49 min pour le séchage au four à micro-ondes à 240W.

L'efficacité de séchage par four à micro-ondes peut être expliquée par une haute pression interne et les gradients de concentration qui augmentent l'évaporation de liquide à travers le produit jusqu'à la stabilité (**Chemat et al., 2008**).

IV.2. Teneur en eau (humidité)

La teneur en eau est la quantité d'eau perdue par l'aliment lorsqu'on le place en équilibre avec une pression de vapeur d'eau nulle. Cette teneur est pour déterminer l'appréciation de certains caractères organoleptiques (**Frenot et Vierling, 2002**). La teneur en eau de notre petit pois est de 80 %. Dans le but d'estimer l'efficacité de séchage dans la limite de la perte d'eau, la teneur en eau pour les différentes poudres obtenues et les résultats sont récapitulés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Taux d'humidité en fonction de temps de séchage des différentes températures et puissances.

Température (°C)	H (%)	Temps (min)	Puissance (W)	H (%)	Temps (min)
40 °C	14	1440	100W	4	116
60 °C	4	1230	100WB	8	90
80 °C	1	660	240W	7	53
/	/	/	240WB	11	49
/	/	/	400W	4	26
/	/	/	640W	6	14

Les résultats de cette étude, montrent également que le taux de perte en eau, change d'une puissance à une autre, aussi selon la méthode de séchage utilisée (four à micro-ondes ou étuve). Le taux d'humidité le plus élevé (14 %) est enregistré avec la température 40 °C, alors que, le taux le plus bas (4 %) est obtenu lors du séchage à la température 60 °C, ainsi qu'à la puissance 100 et 400W.

On conclut qu'il n'y a pas de grande différence entre les deux méthodes. Par contre la durée de séchage par étuve est plus élevée par rapport au séchage par four à micro-ondes. Ce qui confirme l'efficacité du séchage par four à micro-ondes en termes de temps.

D'après les résultats obtenus, les poudres séchées à l'étuve (40 et 60 °C) et au four à micro-ondes (100W, 100WB et 240W, 240WB) ont été choisies pour le reste des expériences.

IV.3. Capacité d'hydratation

La capacité de fixation de l'eau est un paramètre dépendant du degré de gonflement des granules d'amidon (Abecassis *et al.*, 1994). Ces dernières diffèrent largement par leurs formes, tailles, et leurs teneurs en amylose (Colonna et Mercier, 1985). La figure 20 montre la capacité d'hydratation de petit pois en fonction du temps.

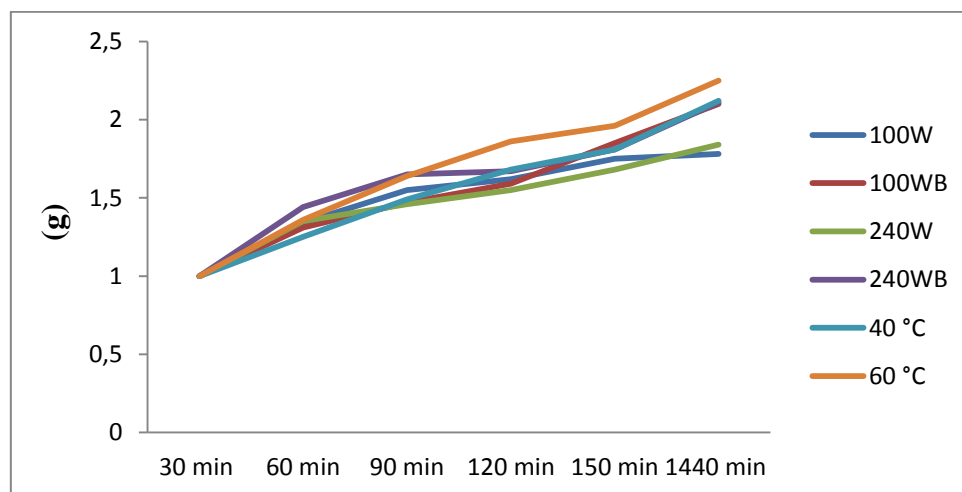


Figure 20 : Valeurs de capacité d'hydratation en fonction du temps.

Selon la figure 20, la capacité d'hydratation la plus élevée est marquée par l'échantillon séché à l'étuve à 60 °C, suivi par celui séché à 40 °C et les échantillons traités par blanchiment. Les échantillons traités sans blanchiment ont marqué la plus faible capacité d'hydratation. Les résultats obtenus pour la capacité et l'indice d'hydratation sont illustrés dans la figure 21.

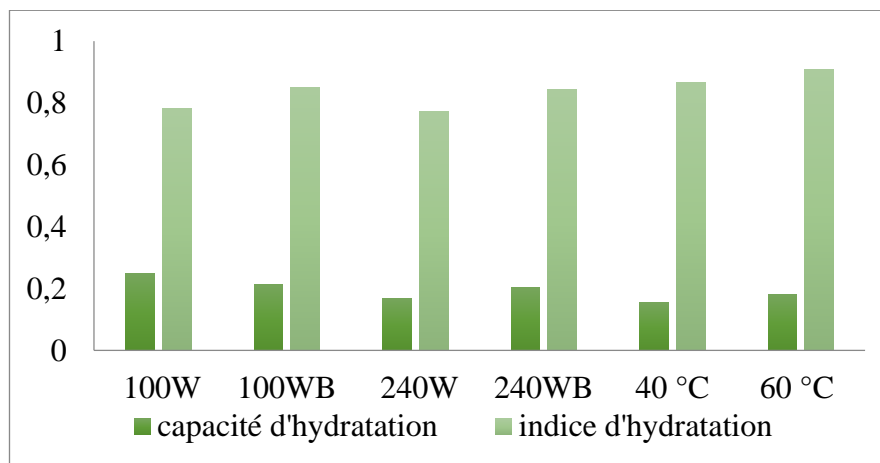


Figure 21 : Capacité et indice d'hydratation de petit pois séchés à l'étuve et au four à micro-ondes.

D'après les résultats obtenus, on constate que les valeurs de taux d'absorption des échantillons varient entre 0,15 et 0,25 g/G. À l'étuve, la capacité est de 0,15 g/G à 40 °C et 0,18 g/G à 60 °C. Au four à micro-ondes, la capacité la plus élevée est de 0,25 g/G attribué à 100W et la plus faible est de 0,17g/G attribué à 240W.

Pour l'indice d'hydratation, l'échantillon séché à 60 °C présente l'indice le plus élevé en comparaison à celui séché à 240W dont l'indice est le plus faible. On constate, ainsi qu'il y a une corrélation entre la capacité et l'indice d'hydratation.

Selon, **Debbouz et Donnelly (1996)**, la quantité d'eau absorbée augmente avec le degré de gélatinisation de l'amidon. **Chahbani et al. (2018)**, ont indiqué que cette capacité d'hydratation est influencée par un processus complexe de changement chimique et physique ; structure poreuse. Cette porosité a contribué à ce que l'échantillon traité à l'étuve à 60 °C possède un taux plus rapide et une capacité d'hydratation plus élevée par rapport aux autres. Ce résultat est en accord avec le rapport de **Rajkumar et al. (2017)**.

IV.4. Teneur en matière minérale (Cendres)

La teneur en matière minérale (teneur en cendre) est la quantité réglementée de résidus minéraux contenus dans le produit (**Abecassis et al., 1994**). Les teneurs en matière minérale des échantillons de petit pois séchés avec les deux méthodes sont illustrées dans la figure 22.

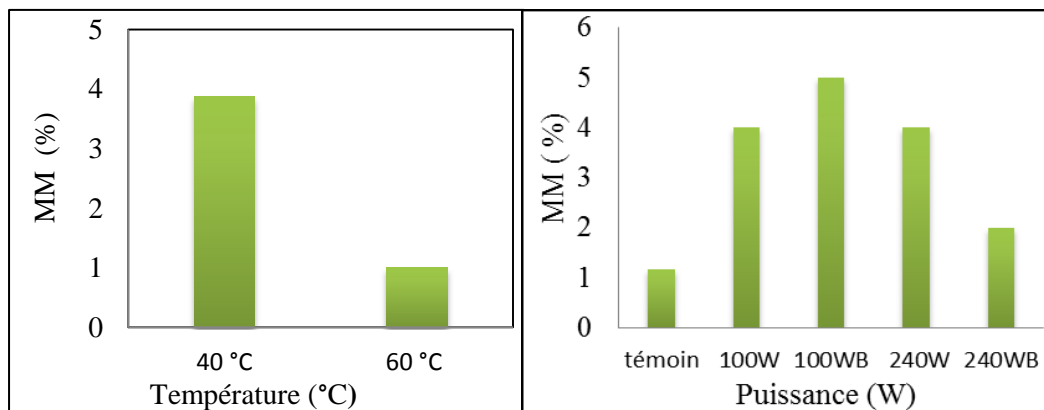


Figure 22 : Teneur en matière minérale de petit pois séché au four à micro-ondes et à l'étuve.

D'après les résultats illustrés dans la figure 22, on constate que les teneurs en cendres des différents échantillons varient entre 1,1 % et 5 %. À l'étuve, le pourcentage est de 3,88 % et 1,1 % à 40 °C et 60 °C respectivement. Au four à micro-ondes, le pourcentage le plus élevé est de 5 % attribué à 100WB et le plus faible est de 2 % attribué à 240WB. La teneur en cendres au petits pois séchés à 100WB est 4 fois supérieure à celle du témoin.

On a calculé les teneurs en matière organique des échantillons de petit pois séchés avec les deux méthodes. Ces dernières sont calculées et illustrées dans la figure 23.

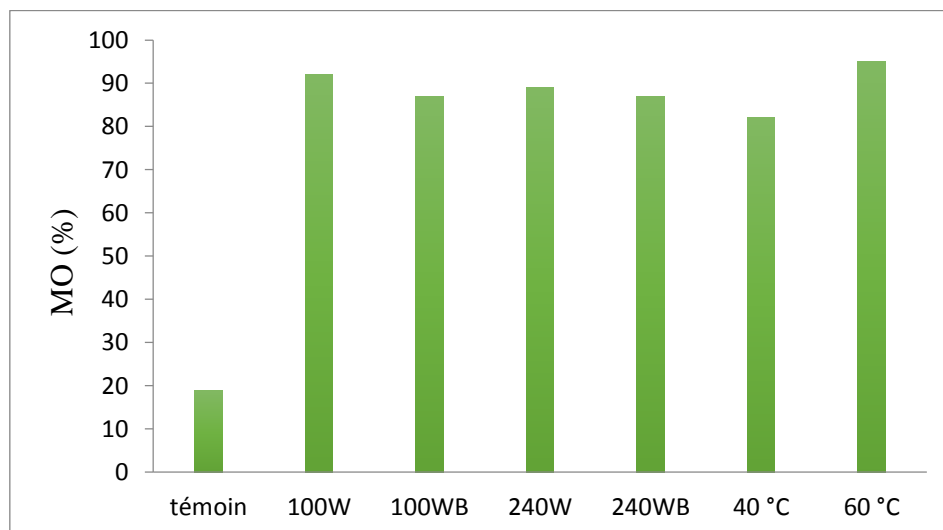


Figure 23 : Teneur en matière organique de petit pois séché au four à micro-ondes et à l'étuve.

Comme il est montré dans la figure 23, nos échantillons présentent des teneurs notables en matière organique qui sont situés entre 82 et 94 % contre un témoin de 18,83 %. La teneur la plus élevée est celle de l'échantillon séché à la température 60 °C, suivie de l'échantillon séché à 100W. Ces teneurs en MO sont dues à la richesse des graines de petit pois en protéines et sucre en particulier.

Il n'y a pas une différence significative entre les échantillons séchés au four à micro-ondes, ils ont presque la même teneur, par contre comparant les deux échantillons séchés à l'étuve, on remarque une différence de 10 %.

IV.5. Analyse phytochimique

IV.5.1. Dosage des composés phénoliques totaux (PPT)

Les composés phénoliques sont des molécules spécifiques du règne végétal qui présentent des propriétés biologiques intéressantes (Ladoh *et al.*, 2014).

Les résultats du dosage des PPT pour les différents extraits de poudres obtenues après séchage avec les deux méthodes sont illustrés dans la figure 24. Des différences significatives ($p < 0,05$) existent entre les échantillons de petit pois.

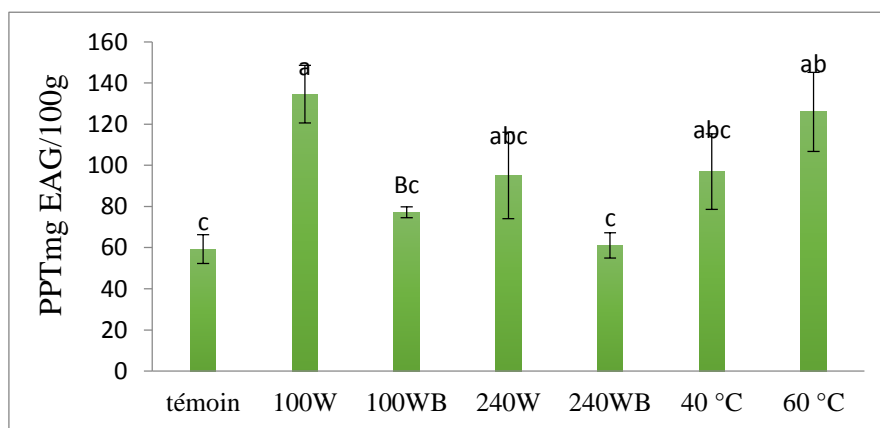


Figure 24 : Teneurs en PPT des extraits de poudres de petit pois séché à l'étuve et au four à micro-ondes.

La Figure 24 montre que les teneurs en PPT des échantillons après le séchage diffèrent de celle du témoin. En effet les échantillons séchés à 100W et 60 °C présente une teneur plus élevée par rapport au témoin. La teneur moyenne en PPT est comprise entre 59,25 et 134,56 mg EAG/100 g de poudre de petit pois.

On constate que le séchage par étuve, à la température 60 °C a donné la teneur la plus importante en PPT avec une teneur de 125,92 mg EAG/100 g par rapport à 40 °C. L'analyse statistique montre qu'il n'y a pas une différence significative, donc la température n'a pas une influence sur la teneur en PPT.

Pour le séchage par four à micro-ondes la teneur la plus élevée en PPT est obtenue à 100W avec une teneur de 134,56 mg EAG/100 g. L'analyse statistique montre qu'il y a une différence significative entre les teneurs obtenues pour les puissances appliquées, ce qui implique que les puissances ont une influence sur la teneur en PPT. L'effet de blanchiment est significatif dans le cas de séchage à 100W.

La comparaison entre les deux types de séchage en termes de la teneur en PPT montre que, les résultats obtenus par four à micro-ondes sont supérieurs à ceux de l'étuve.

La fluctuation observée entre les deux températures de séchage par étuve peut être due à un effet de température ou du temps ou les deux en même temps. Concernant le séchage par four à micro-ondes les mêmes résultats ont été déjà soulignés par **Wojdylo et al. (2014)** dans le cas de séchage des cerises au four à micro-ondes et, par **Chahbani et al. (2018)** dans le séchage de petit pois par four à micro-ondes. Ce dernier a justifié cette augmentation en composés phénoliques après le séchage par la dégradation des cellules cutanées fraîches, ce qui favorise l'extraction de ces composés à l'extérieur. **Del Caro et al. (2004)** ont également signalé qu'au cours du processus de séchage, la libération de composés phénoliques de la matrice était améliorée. Ce comportement peut s'expliquer par le fait qu'une partie des composés phénoliques est liée aux structures cellulaires et que les traitements de séchage libèrent ces composés phytochimiques pour les rendre plus accessibles à l'extraction. Néanmoins, les niveaux élevés de puissance de four à micro-ondes ont entraîné une diminution des composés phénoliques, cela peut être liée à la hausse de la température de l'échantillon au cours de la déshydratation ; comme dans notre cas un séchage modéré à 100W a entraîné une baisse de température des matériaux et donc une forte teneur en composés phénoliques, au lieu de 240W. Cela pourrait s'expliquer par les modifications chimiques irréversibles des processus oxydants des composés phénoliques se produisant avec une température élevée dans l'échantillon traité à 240W.

IV.5.2. Dosage des flavonoïdes

Les flavonoïdes sont omniprésents chez tous les végétaux. L'activité des flavonoïdes est exprimée par leur grande affinité biologique avec les polymères, les métaux lourds et surtout pour leurs activité antioxydante. Ce sont les plus actifs parmi les antioxydants végétaux alimentaires (**Seyoum et al., 2006**). Les teneurs en flavonoïdes contenues dans les poudres issues de séchage sont illustrées dans la figure 25.

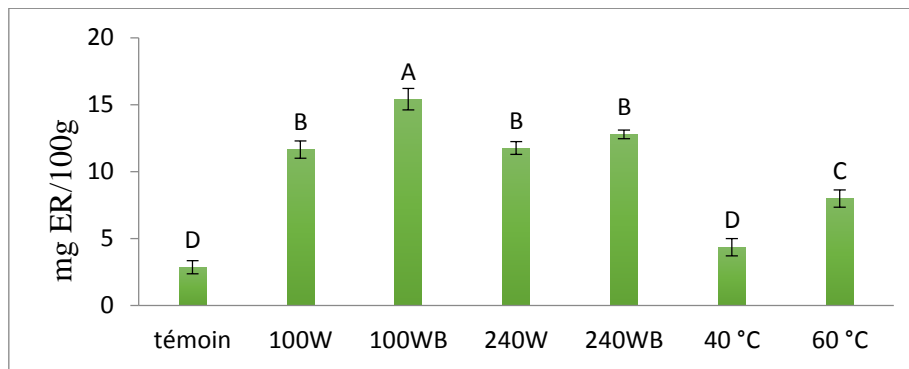


Figure 25 : Teneurs en flavonoïdes des extraits de poudres de petit pois séché à l'étuve et au four à micro-ondes.

La figure 25 montre qu'il y a une différence significative entre les échantillons séchés (par étuve et four à micro-ondes) et l'échantillon non séché (témoin). On constate qu'il y a une augmentation des teneurs en flavonoïdes après le séchage qui est de 2,85 mg ER/100 g pour le témoin.

A l'étuve, les teneurs en flavonoïdes varient en fonction de température et du temps de séchage. Les teneurs obtenus sont 4,33 mg ER/100g ; 7,99mg ER/100 g pour 40 °C et 60 °C respectivement. L'analyse statistique montre qu'il y a une différence significative ce qui signifie que la température a une influence sur la teneur en flavonoïdes.

Au four à micro-ondes, il n'y a pas de différence en teneur en flavonoïdes entre le séchage à 100W et 240W ; 11,18 mg ER/100 g ; 11,41 mg ER/100 g respectivement. On conclut que les puissances n'ont aucune influence sur la teneur en flavonoïdes. Par contre en comparaison les résultats obtenus des extraits traités avec le blanchiment, par rapport aux autres non blanchis, la teneur en flavonoïdes a augmenté. Le plus important est obtenu à 100WB avec une teneur de 15,41 mg ER/100 g suivis de 240WB avec une teneur de 12,78 mg ER/100 g. L'analyse statistique confirme que les puissances n'ont pas une influence sur la teneur en flavonoïdes.

La comparaison entre les deux types de séchage en termes de la teneur en flavonoïde, montre que les résultats obtenus par four à micro-ondes sont supérieurs par rapport à ceux de l'étuve.

IV.5.3. Dosage des chlorophylles α et β

Les chlorophylles, colorants responsables de la caractéristique de la couleur verte des fruits et légumes, sont fortement sensibles à la dégradation pendant le traitement, ayant pour résultat la modification de la couleur des aliments (Schwartz *et al.*, 1983). La conservation de la chlorophylle

a été employée comme mesure de qualité dans les légumes verts (**Koca et al., 2007**). Les teneurs en flavonoïdes contenues dans les poudres issues de séchage sont illustrées dans la figure 26.

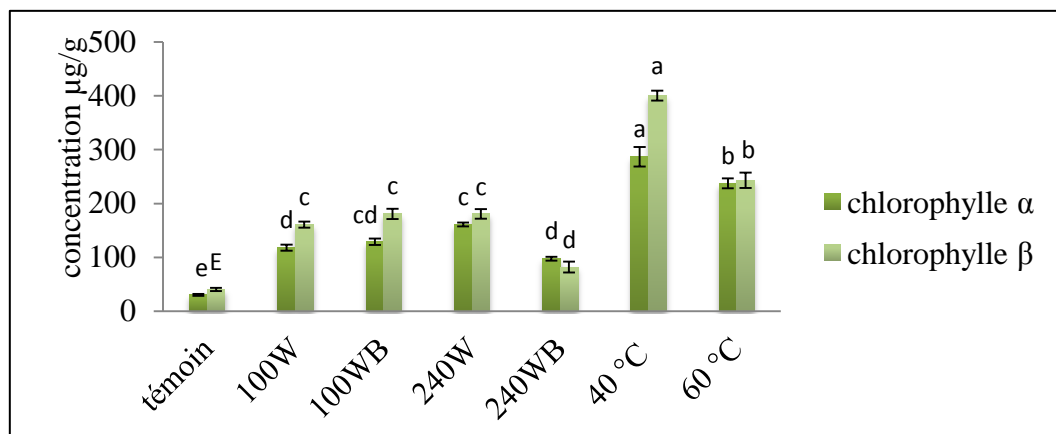


Figure 26 : Teneurs en chlorophylle “ α ” et “ β ”.

Au reflet de la figure 26, on remarque que les teneurs en chlorophylle “ α ” et “ β ” après séchage par les deux méthodes (étuve, four à micro-ondes) sont très élevées comparant à l’état frais. Cette augmentation peut être expliquée par le fait que l’intensité de la chaleur, ou la puissance appliquée ont favorisé la libération et la disponibilité de la forme libre de la chlorophylle contenue dans les chloroplastes.

Les chlorophylles “ α ” et “ β ” sont meilleures au séchage à l’étuve qu’au séchage au four à micro-ondes. Lors du séchage à l’étuve 40 °C, on a remarqué que la teneur en chlorophylles est relativement la plus élevée. L’analyse statistique montre qu’il n’y a pas de différence significative entre chlorophylle “ α ” et “ β ”, mais il existe une différence significative concernant les températures appliquées.

Pour les résultats des échantillons traités par four à micro-ondes, on remarque qu’il n’y a pas un effet significatif des différentes puissances. Néanmoins, la teneur en chlorophylles de l’échantillon obtenu par le séchage à 240WB est faible par rapport aux autres échantillons. Cela est confirmé par l’analyse statistique.

IV.5.4. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des molécules lipophiles qui tendent à s’accumuler dans les compartiments lipophiles, comme les membranes ou des lipoprotéines. Ils sont souvent solubilisés dans des solvants organiques tels que le tétrahydrofurane (THF) ou le diméthylsulfoxyde (DMSO) (**Milani et al., 2017**). Les résultats des concentrations en caroténoïdes sont présentés dans la figure 27.

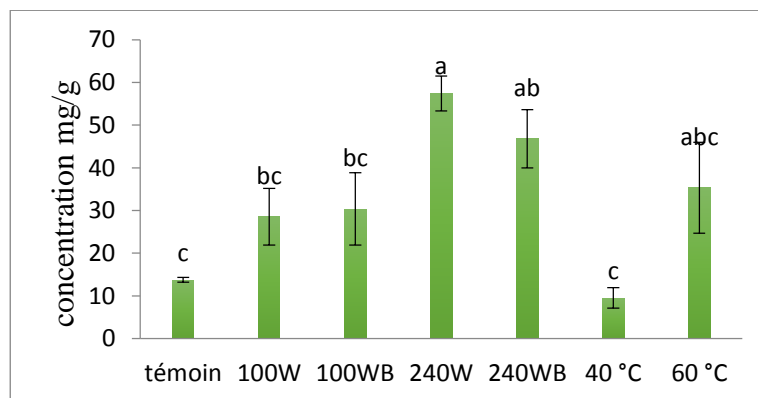


Figure 27 : Teneurs en caroténoïdes des échantillons des extraits de poudres de petit pois séché à l'étuve et au four à micro-ondes.

Les teneurs en caroténoïdes des échantillons analysés présentent tous des différences significatives (Figure 27). La teneur la plus élevée est celle de 240W, suivie de celle de 240WB. La teneur en caroténoïdes la plus faible est marquée par l'échantillon séché à l'étuve à 40 °C.

L'analyse statistique montre qu'il y a une différence significative des teneurs en caroténoïdes au niveau des puissances, et des températures. Cela indique que la puissance et la température ont une influence sur la teneur en caroténoïdes. Le traitement par blanchiment n'a pas donné de différence significative par rapport aux échantillons non blanchis.

IV.5.5. Test DPPH

Le radical DPPH[•] est l'un des composés les plus utilisés généralement pour l'évaluation rapide et directe de l'activité antioxydante en raison de sa stabilité en forme radicale et la simplicité de l'analyse (Bozin *et al.*, 2008). Les pourcentages d'inhibition du radical DPPH des extraits sont présentés dans la figure 28.

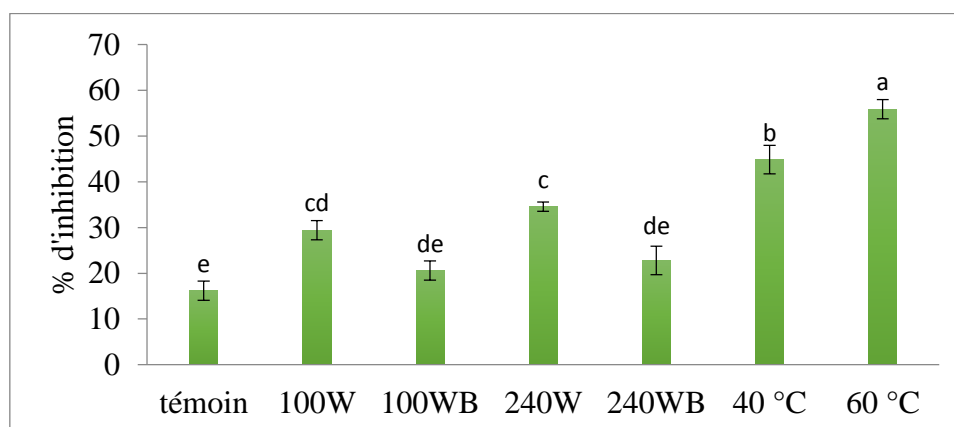


Figure 28 : Pourcentages d'inhibition du radical DPPH[•] à l'étuve et au four à micro-ondes.

La figure 28 montre que, à l'étuve, le pourcentage obtenu à 60 °C est supérieur à celui de 40 °C. Pour le four à micro-ondes, le pourcentage le plus important est enregistré à 240W, avec une valeur de 34,55 %.

L'analyse statistique montre qu'il y a une différence significative entre les teneurs obtenues après le séchage à l'étuve. Cette fluctuation peut être reliée à la température et le temps de séchage qui peut influencer sur le taux de PPT. Pour le four à micro-ondes, il n'y a pas de différence entre les échantillons blanchis, par contre il y a une différence significative entre ces derniers et ceux non blanchis.

Ces résultats ne sont pas compatibles avec ceux de **Chahbani et al. (2018)** qui indiquent que les activités antiradicalaires ont montré les mêmes tendances que les résultats des teneurs en composés phénoliques, ainsi que, les pois séchés à 100W présentaient les teneurs en composés phénoliques les plus élevées. Cette différence peut être due à plusieurs facteurs qui peuvent influencer sur la teneur en phénols, tels que la région géographique où elles ont été cultivées, l'altitude, les facteurs environnementaux tels que le sol, l'irrigation, la température, la qualité de la lumière, l'exposition aux maladies et aux ravageurs, la récolte, la saison, le traitement industriel, le mode de séchage, le stockage et la méthode d'extraction et de quantification (**Djenidi et al., 2019**).

Selon **chahbani et al. (2018)**, les composés qui ont une activité de balayage des radicaux DPPH[·] importante dans le petit pois sont la lutéoline et cirsiol qui étaient de 5,09 et 2,34 µg / ml, indiquant respectivement leur fort potentiel antioxydant. Cette activité antiradicalaire est dépend de la structure de ces derniers contribuant à leur capacité de transfert d'électron/donneur d'hydrogène (**Brand-Williams et al., 1995**), elle pourrait également être due aux effets synergiques entre diverses classes d'antioxydants présents dans les extraits (composés phénoliques, flavonoïdes, tanins, caroténoïdes, etc.).

IV.5.6. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur est une analyse de l'activité antioxydante qui est rapide, reproductible et facile à exécuter. Elle est basée sur la capacité des composés phénoliques à réduire le fer ferrique Fe⁺³ en fer ferreux Fe⁺² ; la puissance de réduction est l'un des mécanismes antioxydants (**Karagozler et al., 2008**).

Les résultats représentés dans la figure 29, montrent l'évolution du pouvoir réducteur des extraits de poudres de petit pois séchés

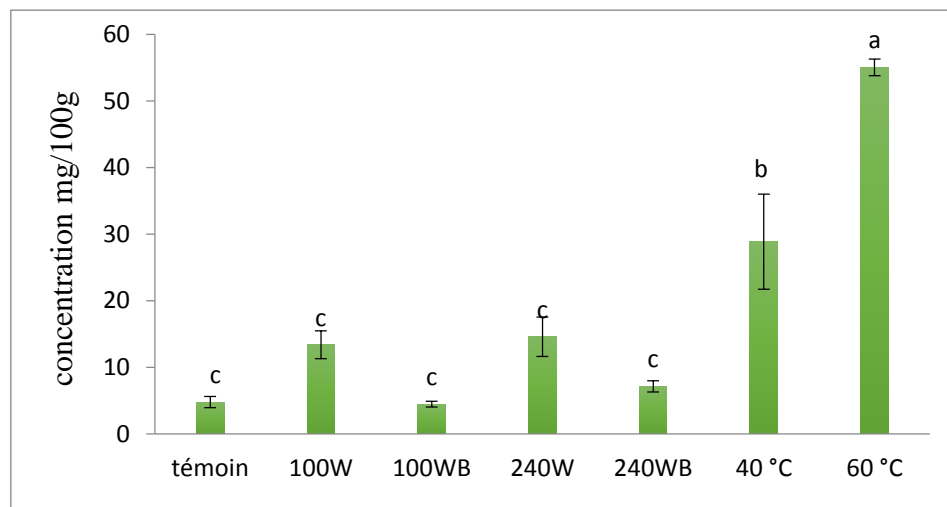


Figure 29 : Teneurs moyennes en pouvoir réducteur des extraits de poudres de petit pois séché à l'étuve et au four à micro-ondes.

Pour l'étuve, la réduction à 60 °C est plus importante que celle de 40 °C, 55,05 mg/100 g et 28,86 mg/100 g respectivement, cela est en accord avec le test DPPH. L'analyse statistique montre qu'il y a une différence significative entre les deux échantillons, cette différence peut être due à la température et au temps de séchage, comme elle peut être due à l'aspect qualitatif et/ou quantitatif des composés phénoliques.

Au four à micro-ondes la valeur la plus importante est enregistrée à 240W qui est de 16,66 mg /100 g, et la plus basse à 100WB avec une valeur de 4,76 mg /100 g. L'analyse statistique montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les échantillons. Cela indique que la puissance et le blanchiment n'ont pas d'influence sur la teneur en pouvoir réducteur.







Selon **Djenidi et al. (2019)** les extraits de petit pois présentent un pouvoir chélatant appréciable. Cette activité de chélation du fer pourrait être liée à la quantité de leurs contenus totaux en phénoliques et flavonoïdes. Des relations similaires entre les polyphénols et la capacité de chélation du fer ont également été notées par **Perron et Brumaghim (2009)**, qui ont indiqué que les fortes propriétés de liaison du fer aux polyphénols, que ce soit la capacité de chélation du fer du polyéchol contenant du catéchol ou du gallol, jouent en réalité un rôle clé dans leurs comportements. Une activité antioxydante et une peroxydation anti-lipidique en bloquant la réaction de Fenton. **Gebhardt et Fausel (1997)** ont également mentionné que l'extrait d'artichaut avait un potentiel chélateur important, qui peut être dû, au moins, à certains composés polyphénoliques et flavonoïdes.

D'autres auteurs ont rapporté que certains traitements thermiques entraînent une augmentation de l'activité antioxydante totale et la teneur en flavonoïdes dans le brocoli, haricot vert, le poivre et les épinards (Turkmen *et al.*, 2005).

IV.6. Analyse de la couleur

Les différentes poudres de petit pois séché au four à micro-ondes et à l'étuve illustré dans le tableau 12, montrent une variabilité de couleur, ce qui indique la dégradation de la couleur des poudres (les pigments). En effet, pour le séchage au four à micro-ondes, les poudres obtenues montrent une dégradation graduellement en augmentant la puissance (la poudre de 100W est meilleure). Le blanchiment n'a pas donné un effet particulier sur les poudres traités avec, par rapport à ceux non blanchis, il n'y a pas eu une grande différence au niveau de la couleur, par contre, celles obtenues à l'étuve montrent une variation en fonction de la température (la poudre de 40 °C est meilleure). En comparant les couleurs des poudres obtenues, celles séchées par étuve montre moins de dégradation par rapport à l'ensemble des poudres obtenues au four à micro-ondes. En effet ces résultats sont beaucoup plus en accord avec les teneurs en chlorophylles. Cette perte de couleur observée peut être due à la dégradation des pigments tels que les chlorophylles les caroténoïdes, et au phénomène de brunissement enzymatique, et/ou non enzymatique qui peuvent se produire lors du procédé de séchage.

Tableau 12 : Les poudres obtenues à partir de petit pois séché à l'étuve et au four à micro-ondes

Température	Couleur	Puissance	Couleur
40 °C		100W	
60 °C		100WB	
		240W	
		240WB	

A cet effet nous avons mesuré l'indice de brunissement à 420 nm et les résultats sont présentés dans la figure ci-après :



Figure 30 : Mesure de l'indice de brunissement à 420 nm.

Selon la figure 30 on constate que les échantillons séchés au four à micro-ondes présentent des indices de brunissement plus élevés que ceux observés avec le séchage à l'étuve. En effet, l'échantillon le plus bruni est celui séché à 240W. Concernant le séchage à l'étuve, l'échantillon séché à 60 °C présente l'indice de brunissement le plus élevé. Ces résultats sont en parfaite accord avec l'analyse visuel de la couleur (Tableau 12).

IV.7. Test de corrélation entre les différents paramètres étudiés

Afin de voir, s'il y a une corrélation entre la teneur en PPT et les autres paramètres étudiés, une analyse de corrélation a été réalisée. Les résultats sont représentés dans le tableau 13.

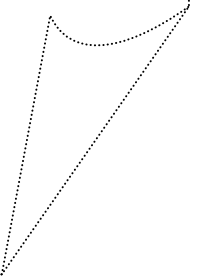
Tableau 13 : Corrélation entre PPT et les autres paramètres.

	PPT	Flavonoïde	Chlorophylle α	Chlorophylle β	Caroténoïdes	DPPH	Pouvoir réducteur
PPT	1						
Flavonoïdes	0,041	1					
Chlorophylle α	0,481	-0,160	1				
Chlorophylle β	0,453	-0,204	0,951	1			
Caroténoïdes	0,103	0,630	-0,107	-0,286	1		
DPPH	0,641	-0,244	0,885	0,741	0,032	1	
Pouvoir réducteur	0,587	-0,313	0,765	0,598	-0,043	0,953	1

D'après les résultats du tableau 13, on constate l'existence de corrélation entre caroténoïdes, flavonoïdes et l'absence de corrélation entre les flavonoïdes, PPT. En d'autres termes, un échantillon qui présente une teneur intense en PPT n'est pas forcément riche en flavonoïdes.

Aussi, le tableau 13 montre de fortes corrélations entre "le pouvoir réducteur, DPPH", entre "DPPH, PPT", et entre "DPPH, Chlorophylle α ". Cela indique que les échantillons qui ont un bon pourcentage d'inhibition de DPPH ont aussi une grande capacité de réduire le fer ferrique Fe^{+3} en fer ferreux Fe^{+2} .

Conclusion



La présente étude s'est étalée d'une part au suivi des cinétique de séchage, four à micro-ondes (100W, 240W, 400W, 640W) et étuve (40 °C, 60 °C, 80 °C) de *Pisum Sativum* et d'autres part à l'évaluation de l'influence de ces procédés et le blanchiment sur la couleur, la composition en cendres, en principes actifs (polyphénols totaux, flavonoïdes, chlorophylles), et l'activité antioxydante.

Le résultat des cinétiques de séchage indique que la perte de teneur en eau de petit pois est plus rapide à l'aide d'un four à micro-ondes comparé au séchage à l'étuve. En effet, le séchage avec la plus faible puissance four à micro-ondes (100W), nécessite 116 min, contre 1440 min pour le séchage à 40 °C à l'étuve. Le blanchiment a accéléré le séchage à 100W de 26 min (90 min à 100WB).

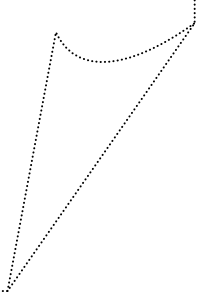
A la lumière de cette étude, on déduit que le séchage par four à micro-ondes est plus favorable, d'une part le temps de séchage est beaucoup plus court par rapport au séchage à l'étuve, et d'autre part en termes de rendement sur la composition phénolique. Le séchage par four à micro-ondes donne une meilleure rentabilité que celle de l'étuve.

L'évaluation de l'influence des deux procédés de séchage, étuve et four à micro-ondes, sur la couleur, composition et l'activité antioxydante a démontré que : les poudres obtenues après séchage, à l'étuve et four à micro-ondes, ont une variance de couleur, celles séchées à l'étuve montre moins de dégradation par rapport à l'ensemble des poudres obtenues au four à micro-ondes. Pour le dosage des PPT les teneurs obtenues après le séchage à l'étuve sont inférieure par rapport à celles de four micro-ondes. La teneur la plus élevée est attribuée au séchage par four à micro-ondes (134.56 mg EAG/100 g à 100W). La même tendance a été constatée dans le cas des flavonoïdes. Les teneurs chlorophylle "α" et "β" après séchage sont très élevées comparant à l'état frais. Concernant l'activité antioxydante, l'étude confirme également une certaine corrélation entre la teneur en substances bioactives et l'activité anti-oxydante mise en évidence.

Toutefois, il serait souhaitable de compléter ce travail avec :

- ✓ Caractérisation de la composition qualitative et quantitative des pois par techniques d'analyses plus performances telle que HPLC, RMN.
- ✓ Optimisation et modélisation des processus de séchage assistés par four micro-ondes microonde et conventionnel ;
- ✓ Caractérisation des minéraux par la spectrométrie d'absorption atomique et dosage de fibres par des enzymes.
- ✓ L'évaluation de l'activité antimicrobienne des différents extraits étudiés.

Références bibliographiques



A

- Abano, E. E., Ma, H. et Qu, W. (2011).** Influence of air temperature on the drying kinetics and quality of tomato slices. *Journal of Food Processing & Technology*, 2(5), 2-9.
- Abecassis, J., Abbou, R., Chaurand, M., Morel, M. H. et Vernoux, P. (1994).** Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature, and pressure in the extruder and on pasta quality. *Cereal Chemistry*, 71, 247-253.
- Akbarian, M., Ghasemkhani, N. et Moayedi, F. (2014).** Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review. *International Journal of Biosciences*, 4(1), 42-57.
- Al-Ali, M. et Parthasarathy, R. (2019).** Modeling and kinetics study of novel microwave irradiation drying of naproxen sodium drug. *Powder Technology*, 345, 766-774.
- Alibas, I. (2007).** Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT-food science and technology*, 40(8), 1445-1451.
- Allard, C., Bill, L. et Touraud, G. (1993).** L’anthracnose du pois. *Agronomie EDP sciences*, 13(1), 5-24.
- Amrani, M., et Laglaoui, A. (2007).** Étude comparative de la congélation des fraises marocaines par procédé cryogénique et mécanique. *InterSedes*, 8(14), 137-143.
- Arvy, M. P. et Gallouin, F. (2003).** Épices, aromates et condiments. Belin. 416 pages.
- Asioli, D., Rocha, C., Wongprawmas, R., Popa, M., Gogus, F. et Almlı, V. L. (2019).** Microwave-dried or air-dried? Consumers' stated preferences and attitudes for organic dried strawberries. A multi-country investigation in Europe. *Food Research International*, 120, 763-775.
- Aubineau, M., Bermond, A., Bougler, J., Ney B. et Roger-Estrade, J. (2002).** Larousse Agricole. 4^{ème} édition, Larousse. 800 pages.

B

- Bacci, M., Checcucci, A., Checcucci, G. et Palandri, M. R. (1985).** Microwave Drying of Herbarium Specimens. *Wiley*, 34(4), 649-653.
- Benoît, M., Lardon, S. et Deffontaines, J. P. (2006).** Acteurs et territoires locaux: vers une géoagronomie de l'aménagement. 1^{ème} édition, éditions Quae. 192 pages.
- Bimbenet, J. J., Daudin, J. D. et Wolff, E. (1985).** Air drying kinetics of biological particles. *Drying*, 85, 178-185.
- Boidron, A. (2017).** A rames, mange-tout, lisses ou ridés : comment s'y retrouver dans les petits pois ? Au Jardin des Quatre Moineaux. Sur le site: <http://www.quatreminoiaux.be/2017/07/la-classification-des-petits-pois.html>. [Consulté le 19-03-2019].
- Bonazzi, C. et Bimbenet, J. J. (2003).** Séchage des produits alimentaires. *Techniques de l'ingénieur*, 1, 1-14.

- Bonazzi, C. et Dumoulin, E. (2011).** Quality changes in food materials as influenced by drying processes. *Modern drying technology*, 3, 1-20.
- Bonnazi, C. et Bimbinet, J. J. (2003).** Séchage des produits alimentaires : Principes. Techniques de l'ingénieur.1-14.
- Boulekbache-Makhlouf, L., Slimani, S. et Madani, K. (2013).** Total phenolic content, antioxidant and antibacterial activities of fruits of Eucalyptus globulus cultivated in Algeria. *Industrial crops and products*, 41, 85-89.
- Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Samojlik, I., Goran, A. et Igic, R. (2008).** Phenolics as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L., Alliaceae). *Food chemistry*, 111(4), 925-929.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. et Berset, C. L. W. T. (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Brink, M. et Belay, G. (2006).** Ressources végétales de l'Afrique tropicale : céréales et légumes secs. 1^{ère} édition, Backhuys Publishers. 326 pages.
- Broughton, W. J. et Dilworth, M. J. (1971).** Control of leghemoglobin synthesis in snake beans. *Biochemistry Journal*, 125, 1075-1080.
- Buffler, C. R. (1993).** Microwave cooking and processing: engineering fundamentals for the food scientist. 1^{ère} édition, Springer. 169 pages.
- Burger, T. G. et Zhang, Y. (2019).** Recent progress in the utilization of pea protein as an emulsifier for food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 25-33.

C

- Calvache, J. E. N., Fissore, E. N., Latorre, M. E., Soria, M., Pla, M. F. D. E. et Gerschenson, L. N. (2015).** Obtention of dietary fibre enriched fractions from peach bagasse using ethanol pre-treatment and microwave drying. *LWT-Food Science and Technology*, 62(2), 1169-1176.
- Cassanelli, M., Norton, I. et Mills, T. (2018).** Role of gellan gum microstructure in freeze drying and rehydration mechanisms. *Food Hydrocolloids*, 75, 51-61.
- Chahbani, A., Fakhfakh, N., Balti, M. A., Mabrouk, M., El-Hatmi, H., Zouari, N. et Kechaou, N. (2018).** Microwave drying effects on drying kinetics, bioactive compounds and antioxidant activity of green peas (*Pisum sativum* L.). *Food Bioscience*, 25, 32-38.
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S. et Basak, T. (2013).** Microwave food processing: A review. *Food Research International*, 52(1), 243-261.
- Chavan, U. D. et Amarowicz, R. (2012).** Osmotic dehydration process for preservation of fruits and vegetables. *Journal of Food Research*, 1(2), 202-209.

- Cheftel, C., Cuq, J., Provansal, M. et Besancon, P. (1976).** Influence de procedes technologiques sur la composition et la valeur nutritionnelle d'aliments proteiques. *Revue française des corps gras*, 1, 7-13.
- Chemat, F., Tomao, V. et Viot, M. (2008).** Ultrasound-assisted extraction in food analysis. *Handbook of food analysis instruments*, 85-103.
- Cieslarova, J., Smykal, P., Dockalova, Z., Hanacek, P., Prochazka, S., Hybl, M. et Griga, M. (2011).** Molecular evidence of genetic diversity changes in pea (*Pisum sativum* L.) germplasm after long-term maintenance. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58, 439-451.
- Colonna, P. et Mercier, C. (1985).** Gelatinization and melting of maize and pea starches with normal and high-amylose genotypes. *Phytochemistry*, 24(8), 1667-1674.
- Copson, D. A. (1975).** Microwave heating. 2^{ème} édition, The Avi publishing company, inc. 615 pages.
- Coulibaly, I., Dubois-Dauphin, R., Danthine, S., Majad, L., Mejoub, T., Destain, J., Béra, F., Wathelet, J. P. et Thonart, P. (2011).** Techniques de séchage des starters lactiques et mécanismes affectant la viabilité cellulaire suite à la lyophilisation. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 15(2), 287-299.
- Couplan, F. (2011).** Guide nutritionnel des plantes sauvages et cultivées. Delachaux et niestlé. 256 pages.

D

- Dairi, S., Madani, K., Aoun, M., Him, J. L. K., Bron, P., Lauret, C., Cristol, J. P. et Carbonneau, M. A. (2014).** Antioxidative properties and ability of phenolic compounds of *Myrtus communis* leaves to counteract in vitro LDL and phospholipid aqueous dispersion oxidation. *Journal of food science*, 79(7), 1260-1270.
- Davies, D. R., Berry, G. J., Heath, M.C. et Dawkins, T. C. K. (1985).** Pea (*Pisum sativum* L.). Williams Collins, Sons. 198 pages.
- Debbouz, A. et Donnelly, B. J. (1996).** Process effect on couscous quality. *Cereal Chemistry*, 73(6), 668-671.
- Del Caro, A., Piga, A., Pinna, I., Fenu, P. M. et Agabbio, M. (2004).** Effect of drying conditions and storage period on polyphenolic content, antioxidant capacity, and ascorbic acid of prunes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 4780-4784.
- Djenidi, H., Khennouf, S. et Bouaziz, A. (2019).** Antioxidant activity and phenolic content of commonly consumed fruits and vegetables in Algeria. *Progress in Nutrition*, 21, 01-12.
- Djerroud, D. (2010).** Modélisation markovienne du séchage continu par contact avec agitation. Thèse de doctorat en génie des procédés et de l'environnement. Université de toulouse-France-.

Doymaz, I. (2004). Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of food engineering*, 61(3), 359-364.

Doymaz, I. et Kucuk, I. (2017). Pretreatments and temperature effects on the drying kinetics of peas. *Bulgarian Chemical Communications*, 49, 90-97.

DSA (2019) direction des services agricoles Jijel.

Dudonné, S., Vitrac, X., Coutiere, P., Woillez, M. et Merillon, J. M. (2009). Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(5), 1768-1774.

E

Esfahani, J. A., Vahidhosseini, S. M. et Barati, E. (2015). Three-dimensional analytical solution for transport problem during convection drying using Green's function method (GFM). *Applied Thermal Engineering*, 85, 264-277.

F

Fahim, J. R., Attia, E. Z. et Kamel, M. S. (2019). The phenolic profile of pea (*Pisum sativum*): a phytochemical and pharmacological overview. *Phytochemistry Reviews*, 18(1), 173-198.

FAO, 2017. Food and alimentation organization. Sur le site:<http://www.fao.org/faostat/fr/#data>. [Consulté le 15-04-2019].

Frenot, M. et Vierling, E. (2002). Biochimie des aliments. Diététique du sujet bien portant. 2^{ème} édition, Doin. 304 pages.

G

Gebhardt, R. et Fausel, M. (1997). Antioxidant and hepatoprotective effects of artichoke extracts and constituents in cultured rat hepatocytes. *Toxicology in vitro*, 11(5), 669-672.

Georgé, S., Brat, P., Alter, P. et Amiot, M. J. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 53(5), 1370-1373.

Ghafar, M. F., Prasad, K. N., Weng, K. K. et Ismail, A. (2010). Flavonoid, hesperidine, total phenolic contents and antioxidant activities from Citrus species. *African Journal of Biotechnology*, 9(3), 326-330.

Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N. et Mihoubi, N. B. (2012). Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Industrial Crops and Products*, 40, 167-177.

Gowen, A. A., Abu-Ghannam, N., Frias, J. et Oliveira, J. (2008). Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave-hot-air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(1), 129-137.

Guetchueng, S. T., Gbaweng, J. Y. et Tchinda, A. T. (2015). Phenolic content and DPPH scavenging activity of *Carpobrotus edulis* and *Anchomanes difformis*. *International Journal of Pharma Sciences and Research*, 6(5), 909-912.

H

Han, H. et Baik, B. K. (2008). Antioxidant activity and phenolic content of lentils (*Lens culinaris*), chickpeas (*Cicer arietinum* L.), peas (*Pisum sativum* L.) and soybeans (*Glycine max*), and their quantitative changes during processing. *International journal of food science & technology*, 43(11), 1971-1978.

Holland, P. M., Abramson, R. D., Watson, R. et Gelfand, D. H. (1991). Detection of specific polymerase chain reaction product by utilizing the 5'----3' exonuclease activity of *Thermus aquaticus* DNA polymerase. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88(16), 7276-7280.

Hossain, M. A., Bala, B. K., et Satter, M. A. (2003). Simulation of natural air drying of maize in cribs. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 11(7-8), 571-583.

K

Kamble, L. V., Pangavhane, D. R. et Singh, T. P. (2015). Neural network optimization by comparing the performances of the training functions-Prediction of heat transfer from horizontal tube immersed in gas–solid fluidized bed. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 83, 337-344.

Karagözler, A. A., Erdağ, B., Emek, Y. Ç. et Uygun, D. A. (2008). Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from *Dorystoechastata*. *Food Chemistry*, 111(2), 400-407.

Kay, D. E. (1979). Food legumes. 3^{ème} Edition, Tropical Products Institute. 35 pages.

Kelebek, H., Canbas, A. et Selli, S. (2008). Determination of phenolic composition and antioxidant capacity of blood orange juices obtained from cvs. Moro and Sanguinello (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) grown in Turkey. *Food Chemistry*, 107(4), 1710-1716.

Khnnouf, S., Iratni, N., Baghiani, A., Harzallah, D. et Arrar, L. (2010). Antioxidant and antibacterial activities of extracts from *Artemisia herbaalba* Asso. leaves and some phenolic compounds. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(13), 1273-1280.

Koca, N., Karadeniz, F. et Burdurlu, H. S. (2007). Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry*, 100(2), 609-615.

L

Ladoh, Y. C. F., Dibong, S. D., Nyegue, M. A., Djembissi, T. R. P., Lenta, N. B., Mpondo, M. E., Yinyang, J. et Wansi, J. D. (2014). Activité antioxydante des extraits méthanoliques de *Phragmantheracapitata* (Loranthaceae) récoltée sur *Citrus sinensis*. *Journal of Applied Biosciences*, 84(1), 7636-7643.

- Lahmari, N., Fahloul, D. et Azani, I. (2012).** Influence des méthodes de séchage sur la qualité des tomates séchées (variété Zahra). *Revue des Energies Renouvelables*, 15(2), 285-295.
- Li, Z., Raghavan, G. S. V. et Orsat, V. (2010).** Temperature and power control in microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 478-483.
- Lichtenthaler, H. K., Kuhn, G., Prenzel, U. et Meier, D. (1982).** Chlorophyll-protein levels and degree of thylakoid stacking in radish chloroplasts from high light, low-light and bentazon-treated plants. *Physiologia Plantarum*, 56, 183-188.
- Loridon, K., McPhee, K., Morin, J., Dubreuil, P., Pilet-Nayel, M. L., Aubert, G., Rameau, C., Baranger, A., Coyne, C., Lejeune-Hènaud, I. et Burstin, J. (2005).** Microsatellite marker polymorphism and mapping in pea (*Pisum sativum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 111, 1022-1031.
- Loumont, P. (1960).** Notes sur l'alimentation de lentille en Algérie. *Annales de l'Institut national agronomique El Harrach*, 2, 3-38.
- Lucie, C. (2010).** Conception et mise en forme de nouveaux matériaux à partir de macromolécules naturelles. Thèse de doctorat en Chimie Organique et Macromoléculaire. Université d'Artois -France-.

M

- Mafart, P. (1991).** Génie industriel alimentaire (Tome I, Les procédés physiques de conservation). 2^{ème} édition, Lavoisier. 340 pages.
- Maskan, M. (2001).** Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of food engineering*, 48(2), 177-182.
- Mathavi, V., Sujatha, G., Ramya, S. B. et Devi, B. K. (2013).** New trends in food processing. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 5(2), 176.
- McSweeney, M. et Seetharaman, K. (2015).** State of Polyphenols in the Drying Process of Fruits and Vegetables. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55, 660-669.
- Messaëin, C. M. et Messiaen-Pagatto, F. (2010).** Le potager familial méditerranéen. 1^{ème} édition, éditions Quae. 192 pages.
- Milani, A., Basirnejad, M., Shahbazi, S. et Bolhassani, A. (2017).** Carotenoids: biochemistry, pharmacology and treatment. *British Journal of Pharmacology*, 174(11), 1290-1324.
- Mishra, B. K. (2016).** The Effect of Blanching on Drying of Green Peas. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 5(2), 68-72.
- Moreno, R. R. (2009).** Localisation and characterization of yield component quantitative trait loci (QTLs) in Recombinant Inbred Lines (RILs) of pea, *Pisum sativum* ssp. Thèse de doctorat en Biologie. Université de Northern Illinois -États-Unis-.

Motavali, A., Najafi, G. H., Abbasi, S., Minaei, S. et Ghaderi, A. (2013). Microwave–vacuum drying of sour cherry: comparison of mathematical models and artificial neural networks. *Journal of food science and technology*, 50(4), 714-722.

Mounir, S., Allaf, T., Mujumdar, A. S. et Allaf, K. (2012). Swell drying: coupling instant controlled pressure drop DIC to standard convection drying processes to intensify transfer phenomena and improve quality: an overview. *Drying Technology*, 30(14), 1508-1531.

Mounir, S., Halle, D. et Allaf, K. (2011). Characterization of pure cheese snacks and expanded granule powders textured by the instant controlled pressure drop (DIC) process. *Dairy science & technology*, 91(4), 441.

Mujumdar, A. S. (2014). Handbook of industrial drying. 4^{ème} édition, CRC Press. 1348 pages.

N

Nguyen, T. H. (2015). Etude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux. Thèse de doctorat en ingénierie des matériaux. Université de Bretagne-Sud -France-.

O

Oelke, E. A., Oplinger, E. S., Hanson, C. V., Davis, D. W., Putnam, D. H., Fuller, E. I. et Rosen, C. J. (1991). Dry Field Pea. *Alternative Field Crops Manual*, 100-113.

Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction. *The Japanese journal of nutrition and dietetics*, 44(6), 307-315.

P

Pellicer, J. A., Fortea, M. I., Trabal, J., Rodriguez-Lopez, M. I., Gabaldon, J. A., et Nunez-Delicado, E. (2019). Stability of microencapsulated strawberry flavour by spray drying, freeze drying and fluid bed. *Powder Technology*, 347, 179-185.

Perkin, R. M. (1980). The heat and mass transfer characteristics of boiling point drying using radio frequency and microwave electromagnetic fields. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 23(5), 687-695.

Perron, N. R. et Brumaghim, J. L. (2009). The antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding: a review. *Cellbiochemistry and biophysics*, 53(2), 75-100.

Perrot, C. (1995). Les protéines de pois : de leur fonction dans la graine à leur utilisation en alimentation animale. *Inra Productions Animales*, 3, 151-164.

Pownall, T. L., Udenigwe, C. C. et Aluko, R. E. (2010). Amino acid composition and antioxidant properties of pea seed (*Pisum sativum* L.) enzymatic protein hydrolysate fractions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(8), 4712-4718.

Pu, H., Li, Z., Hui, J. et Raghavan, G. S. V. (2016). Effect of relative humidity on microwave drying of carrot. *Journal of Food Engineering*, 190, 167-175.

R

Rachwa-Rosiak, D., Nebesny, E. et Budryn, G. (2015). Chickpeas—composition, nutritional value, health benefits, application to bread and snacks: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(8), 1137-1145.

Rajkumar, G., Shanmugam, S., de Sousa Galvao, M., Sandes, R. D. D., Neta, M. T. S. L., Narain, N. et Mujumdar, A. S. (2017). Comparative evaluation of physical properties and volatiles profile of cabbages subjected to hot air and freeze drying. *LWT*, 80, 501-509.

Rémond, D. et Walrand, S. (2017). Les graines de légumineuses : caractéristiques nutritionnelles et effets sur la santé. *Innovation Agronomique*, 60, 133-144.

Ribereau-Gayon, P. P. (1982). Incidences œnologiques de la pourriture du raisin 1. *EPPO Bulletin* 12, (2): 201-214.

Roe, M., Pinchen, H., Church, S. et Finglas, P. (2015). McCance and Widdowson's The Composition of Foods Seventh Summary Edition and updated Composition of Foods Integrated Dataset. *Nutrition bulletin*, 40(1), 36-39.

S

Samydurai, P. et Thangapandian, V. (2012). Nutritional assessment, polyphenols evaluation and antioxidant activity of food resource plant *Decalepishamiltonii* Wight & Arn. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2(5), 106-110.

Sanchez-Monge, R., Lopez-Torrejon, G., Pascual, C. Y., Varela, J., Martin-Esteban, M. et Salcedo, G. (2004). Vicilin and convicilin are potential major allergens from pea. *Clinical & Experimental Allergy*, 34(11), 1747-1753.

Scherr, P. (1981). La géothermie et le séchage : principaux généraux et application au séchage du maïs. Bureau de recherches géologiques et minières. 44 pages.

Schulze, B., Hubbermann, E. M. et Schwarz, K. (2014). Stability of quercetin derivatives in vacuum impregnated apple slices after drying (microwave vacuum drying, air drying, freeze drying) and storage. *LWT-Food Science and Technology*, 57(1), 426-433.

Schwartz, S. J., Von Elbe, J. H., Pariza, M. W., Goldsworthy, T. et Pitot, H. C. (1983). Inability of red beet betalain pigments to initiate or promote hepatocarcinogenesis. *Food and Chemical Toxicology*, 21(5), 531-535.

Seyoum, A., Asres, K. et El-Fiky, F. K. (2006). Structure–radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Phytochemistry*, 67(18), 2058-2070.

- Sharma, G. P. et Prasad, S. (2001).** Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave–hot air combination. *Journal of food engineering*, 50(2), 99-105.
- Sharma, G. P. et Prasad, S. (2004).** Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. *Journal of Food Engineering*, 65(4), 609-617.
- Singh, R. P. et Heldman, D. R. (2001).** Introduction to Food Engineering. 3^{ème} édition, London UK: Academic Press. 750 pages.
- Smartt, J. (1990).** Grain legumes: Evolution and genetic resources. Cambridge University Press. 200 pages.
- Smykal, P., Kenicer, G., Flavell, A. J., Corander, J., Kosterin, O., Redden, R. J., Ford, R., Coyne, C. J., Maxted, N., Ambrose, M. J. et Ellis, N. T. H. (2011).** Phylogeny, phylogeography and genetic diversity of the *Pisum* genus. *Plant Genetic Resources*, 9, 4-18.
- Sosa-Morales, M. E., Valerio-Junco, L., López-Malo, A. et García, H. S. (2010).** Dielectric properties of foods: reported data in the 21st century and their potential applications. *LWT-Food Science and Technology*, 43(8), 1169-1179.
- Şükran, D. E. R. E., GÜNEŞ, T. et Sivaci, R. (1998).** Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany*, 22(1), 13-18.

T

- Tapiero, H., Townsend, D. M. et Tew, K. D. (2004).** The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 58(2), 100-110.
- Tosh, S. M. et Yada, S. (2010).** Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43, 450-460.
- Treche, S. (1986).** Influence d'apports moderés d'engrais azote sur la valeur nutritionnelle de tubercules de *DIOSCOREA ROTUNDATA*. *Revue Science et Technique*, 4(5), 77-92.
- Turkmen, N., Sari, F. et Velioglu, Y. S. (2005).** The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food chemistry*, 93(4), 713-718.

V

- Verdier, N. A., Sadat, A. W., Clément, D. A., Emmanuel, N. A. et Georges, N. A. (2016).** Impact of Solar and Microwave Oven Drying on A Few Chemical Parameters of Market Value Quality of Fermented Forastero (*Theobroma Cacao L.*). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 12(4), 402-406.

W

Wang, H. C., Zhang, M. et Adhikari, B. (2015). Drying of shiitake mushroom by combining freeze-drying and mid-infrared radiation. *Food and Bioproducts Processing*, 94, 507-517.

Wojdylo, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P. et Oszmiański, J. (2014). Effect of convective and vacuum–microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. *Food & Bioprocess Technology*, 7, 829-841.

Wray, D. et Ramaswamy, H. S. (2015). Novel concepts in microwave drying of foods. *Drying Technology*, 33(7), 769-783.

Wu, X. -F., Zhang, M., Bhandari, B. et Li, Z. (2019). Effects of microwave assisted pulse fluidized bed freeze-drying (MPFFD) on quality attributes of *Cordyceps militaris*. *Food Bioscience*, 28, 7-14.

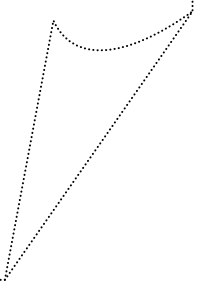
Z

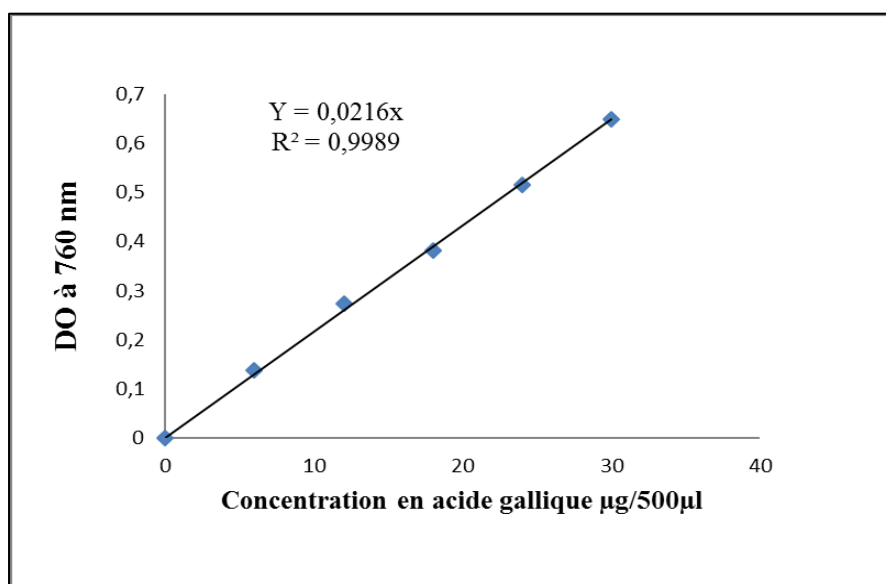
Zhang, L. (2006). Efficient estimation of stochastic volatility using noisy observations: A multi-scale approach. *Bernoulli*, 12(6), 1019-1043.

Zhu, F. et Hummer, G. (2012). Drying transition in the hydrophobic gate of the GLIC channel blocks ion conduction. *Biophysical journal*, 103(2), 219-227.

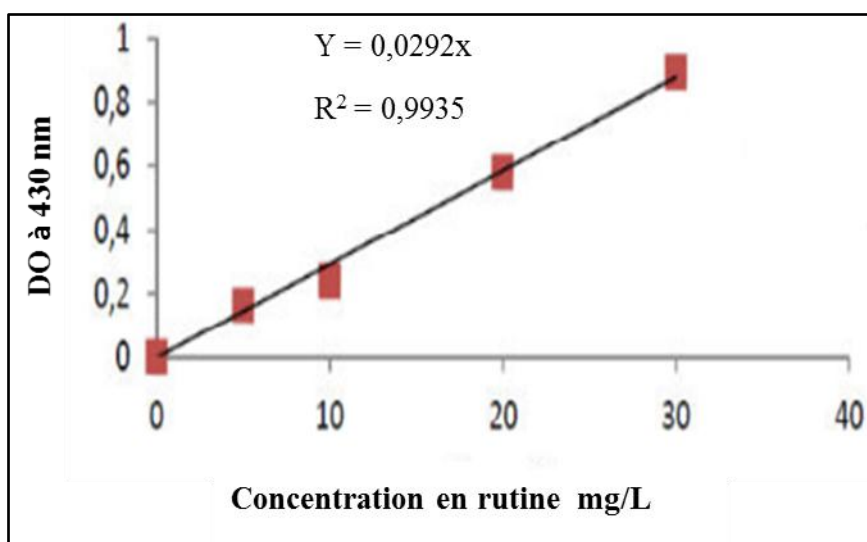
Zohary, D. et Hophf, M. (2002). Domestication of plants in the old world: the origin and spread of cultivated plants in west Asia, Europe and the Nile Valley. 3^{ème} Edition, Oxford University Press Inc. 328 pages.

Annexes

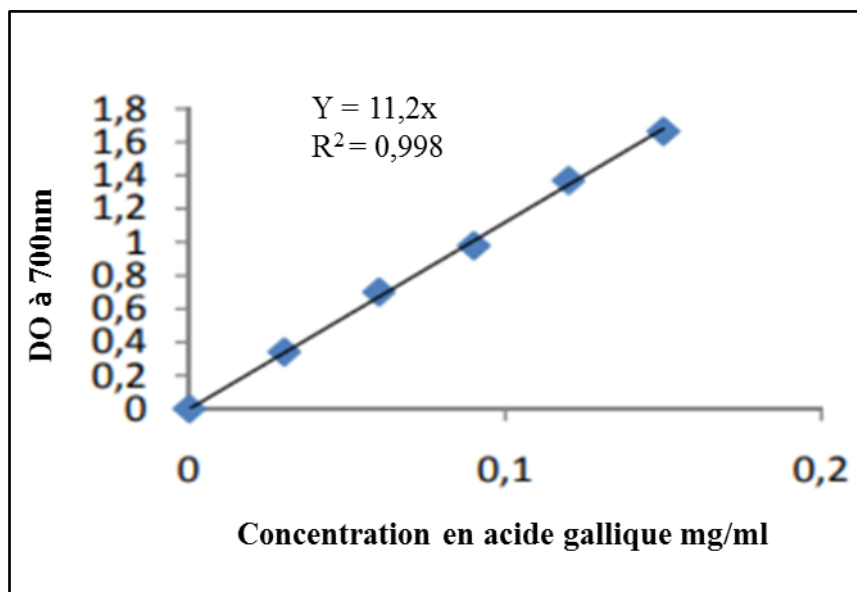




Annexe I : Courbe d'étalonnage d'acide gallique (composées phénoliques totaux).



Annexe II : Courbe d'étalonnage de la rutine (Flavonoïdes).



Annexe III : Courbe d'étalonnage d'acide gallique (pouvoir réducteur).

Résumé

Dans ce présent travail, une étude comparative a été réalisée sur le petit pois entre deux méthodes de séchage, à l'aide d'un four à micro-ondes à plusieurs puissances (100, 240, 400 et 640W) et d'une étuve à différentes températures (40, 60 et 80 °C). Des cinétiques de séchage ont été effectuées en fonction de la perte de masse au cours du temps. Les effets des deux méthodes de séchage, le blanchiment des graines de *Pisum sativum*, sur le rendement phytochimique et la capacité antioxydante ont été évalués. Les cinétiques étudiées ont montré que la stabilité du poids des échantillons est atteinte à un temps beaucoup plus court avec le séchage par four à micro-ondes (240WB / 50 min) qu'avec le séchage par étuve (80 °C / 660 min). La méthode du Folin-Ciocalteu a donné un rendement optimal en polyphénols totaux (PPT) à la puissance 100W avec une valeur de 134,56 mg EAG / 100 g. En outre, une quantité élevée des flavonoïdes a été obtenue à 100WB (15,41 mg ER/100 g). L'étude de l'activité antioxydante a montré que les échantillons séchés à 60 °C et 240W ont une capacité considérable de réduire le fer ferrique Fe^{+3} en fer ferreux Fe^{+2} et de neutraliser le radical DPPH.

Mots clés : petit pois, séchage, four à micro-ondes, composés phénoliques, activité antioxydante

Abstract

In this present investigation, a comparative study was carried out on the pea between two drying methods using a microwave with several powers (100, 240, 400 and 640W) and an oven at different temperatures (40, 60 and 80 °C). Drying kinetics were performed as a function of mass loss over time. The effects of two drying methods, the bleaching of seeds of *Pisum sativum* on phytochemical performance and antioxidant capacity were evaluated. The studied kinetics have shown that the stability of the sample weight is reached at a very short time with microwave drying (240WB / 50min) than with oven drying (80 °C / 660min). The Folin-Ciocalteu method gave an optimal yield of total polyphenols (PPT) at 100W power with a value of 134.56 mg EAG / 100 g. In addition, a high amount of flavonoids was obtained at 100WB (15, 41 mg ER / 100 g). The study of antioxidant activity showed that samples dried at 60 °C and 240W have a considerable capacity to reduce Fe^{+3} ferric iron to Fe^{+2} ferrous iron and to neutralize DPPH radical.

Keywords: Pea, drying, microwave, phenolic compounds, antioxidant activity

ملخص

في هذا البحث الحالي، أجريت دراسة مقارنة على البازلاء بين طريقتين للتجفيف باستخدام فرن الميكروويف بطاقات مختلفة (100, 240, 400, 600 واط) و فرن بدرجات حرارة مختلفة (40, 60, 80 درجة مئوية). تم إجراء حركيات التجفيف اعتماداً على فقدان الكتلة بمرور الوقت. تم تقييم آثار طريقتي التجفيف، تبييض حبوب البازلاء، على الغلة الكيميائية النباتية والقدرة المضادة للأكسدة. أظهرت الحركية المدروسة أن استقرار وزن العينات يتم تحقيقه في وقت أقصر بكثير بالتجفيف في فرن الميكروويف (240 واط/50 دقيقة) مقارنةً بالتجفيف في الفرن (80 درجة مئوية/660 دقيقة). أعطت طريقة العائد الأمثل من البوليفينول الكلي في التجفيف ب 100 واط بقيمة 13.56 مغ مكافئ لحمض الغاليك/100 غ. وبالإضافة إلى ذلك، تم الحصول على كمية عالية من الفلافونويد بالتبييض و التجفيف في 100 واط (15.41 مغ مكافئ للغوتين/100 مغ). أظهرت دراسة نشاط مضادات الأكسدة أن العينات المجففة عند 60 درجة مئوية و 240 واط لديها قدرة كبيرة على تقليل الحديد الثنائي إلى الحديد الثلاثي.

الكلمات المفتاحية : البازلاء، التجفيف، الميكروويف، مركب الفينول، نشاط مضادات الأكسدة.